VERHALTEN EINIGER THERMOPHYSIOLOGISCHER MESSGRÖSSEN AM MENSCHEN BEI VARIATION DER LUFTFEUCHTE WÄHREND EINES LANGFRISTIGEN AUFENTHALTES IM KLIMARAUM

Hartmut Kölsch

1972

DISSERTATIONS – und FOTODRUCK FRANK oHG
8000 München 2 · Gabelsbergerstr. 15 · Tel.: 2 80 90 90

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie
und Klimatologie der Universität M ü n c h e n
Vorstand: Prof. Dr. med. J. Lissner

VERHALTEN EINIGER THERMOPHYSIOLOGISCHER MESSGRÖSSEN AM MENSCHEN BEI VARIATION DER LUFTFEUCHTE WÄHREND EINES LANGFRISTIGEN AUFENTHALTES IM KLIMARAUM

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hartmut Kölsch

aus

Chemnitz

1972

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der
Universität München

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Berichterstatter: Dipl. Phys. K. Dirnagl
Prof. Dr. med. H. Drexel

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. J. Lissner

Dekan: Prof. Dr. med. Wolfgang Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Juni 1972

1972
Verlag Scriptum Medici - Rüdiger Umhau
München 5, Westermühlstr. 13, Tel.: 263211

Gliederung

1. Einleitung und allgemeine Problemstellung..... Seite 1

2. Literaturübersicht..... Seite 3
   2.1. Vasomotorische Temperaturregulation..... Seite 3
   2.2. Luftfeuchte und subjektives Wärmeempfinden... Seite 3
   2.3. Luftfeuchtewirkung auf die Wärmeabgabe..... Seite 4
   2.4. Luftfeuchtewirkung auf Körperkern- und Hauttemperatur..... Seite 6
   2.5. Bisherige Klimakammerversuche..... Seite 7
   2.6. Zur Wiedererwärmungsreaktion..... Seite 8

3. Allgemeine Methodik..... Seite 9
   3.1. Organisation des Klimakammerversuches..... Seite 9
   3.1.1. Die Klimakammer..... Seite 9
   3.1.2. Raumklima..... Seite 12
   3.1.3. Versuchspersonen..... Seite 13
   3.1.4. Tagesablauf..... Seite 13
   3.2. Erklärung der Abkürzungen..... Seite 14
   3.3. Statistische Auswertung..... Seite 14

4. Spezielle Methodik..... Seite 20
   4.1. Die Wiedererwärmungsreaktion..... Seite 20
   4.1.1. Versuchsaufbau und -ablauf..... Seite 20
   4.1.2. Datenaufbereitung..... Seite 20
   4.2. Rektal- und Sublingualtemperaturmessung..... Seite 23

5. Ergebnisse..... Seite 24
   5.1. Zur Wiedererwärmungsreaktion..... Seite 24
   5.1.1. Die Ausgangstemperatur..... Seite 30
   5.1.2. Erwärmungsreaktion..... Seite 33
   5.1.3. Konsensuelle Reaktion..... Seite 46
   5.1.4. Überblick über das Personenverhalten..... Seite 62
   5.2. Lingualtemperatur..... Seite 64
   5.2.1. Tagesprofil..... Seite 64
   5.2.2. Periodenverlauf..... Seite 66
   5.2.3. Trendbetrachtung..... Seite 68

5.3. Rektaltemperatur..... Seite 71
5.3.1. Tagesablauf..... Seite 71
5.3.2. Periodenverlauf..... Seite 71
5.3.3. Trendbetrachtung..... Seite 72

6. Diskussion..... Seite 76
6.1. Akrentemperaturverhalten..... Seite 76
6.2. Sublingual- und Rektaltemperatur..... Seite 80
6.3. Körpertemperaturwerte im Periodenablauf..... Seite 83
6.4. Erwärmungsreaktion und konsensuelle Reaktion Seite 85
6.4.1. Einige theoretische Erläuterungen zur Ausübung der Methode..... Seite 85
6.4.2. Besprechung der Ergebnisse..... Seite 86
6.5. Vorschläge für künftige Dauerversuche..... Seite 90
6.5.1. Zur Gesamtorganisation des Versuches..... Seite 90
6.5.2. Vorschläge zur Durchführung und Auswertung der hier b arbeiteten Einzelversuche..... Seite 92

7. Zusammenfassung..... Seite 95

8. Literaturverzeichnis..... Seite 98

1. Einleitung und allgemeine Problemstellung

Die Medizinmeteorologie oder Biometeorologie hat bisher grundsätzlich zwei Forschungswege, um Reaktionen des Organismus auf das Wettergeschehen zu erfassen: Einmal durch die Frage nach bestimmten physiologischen Wirkungen von "Akkordschwankungen" (47) der meteorologischen Elemente, wie sie im natürlichen Wetterablauf stattfinden. Dabei wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen der Wetterablauf durch eine Folge von Wetterphasen charakterisiert, womit eine mehr qualitative Erfassung der Zusammenhänge Wetter - Leben möglich ist. (Ungeheuer in Bad Tölz, Amelung in Königstein, Schulze und Schröder in Hamburg) (5)

Der zweite Weg, dessen Ziel letztlich in der kausalen Erklärung der Wetterwirkungen liegt, ist der Versuch einer Korrelationsermittlung zwischen definierter Veränderung von meteorologischen Einzelelementen und bestimmten Lebensvorgängen bei Konstanz der übrigen meteorologischen Elemente. Entsprechende Untersuchungen lassen sich nur im künstlichen Klima einer Klimakammer durchführen.

Am 1. 8. 1969 war diese Möglichkeit zum ersten Mal gegeben im Bioklimaraum des Instituts für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Universität München. In einem 19 tägigen Dauerversuch mit drei jungen männlichen Versuchspersonen sollten zunächst Erfahrungen und Erkenntnisse für die praktische Durchführung künftiger Dauerversuche gewonnen werden, außerdem erhoffte man sich erste Ergebnisse über physiologische Wirkungen des einfachen Wetterelementes Luftfeuchte; das Kausalitätsproblem stand dabei noch im Hintergrund.

Somit ergeben sich folgende Fragen an den Klimakammerversuch:

1) Ist die Organisation des Versuches geeignet und wie kann sie optimiert werden? Diese Frage betrifft hauptsächlich die Art der äußeren Lebensbedingungen, wie Möblierung, Nahrung, die Tageseinteilung, Art und Umfang der Außenkontakte, bzw. Kommunikationsprobleme und das allgemeine Problem des Lebens auf engem Raum.

2) Sind die angewandten physiologischen, biochemischen und psychologischen Untersuchungsmethoden und ihre technische Durchführung bei künftigen Versuchen brauchbar? Dazu gehört auch die Frage der Häufigkeit der täglichen Messungen und die Art der Erfassung von Meßergebnissen, sowie die Gruppierung bestimmter Untersuchungsmethoden zu Untersuchungskomplexen wie Wärmehaushalt, Wasserhaushalt etc.

3) Lassen sich qualitative und quantitative Einflüsse der Luftfeuchte auf die untersuchten physiologischen Größen erkennen? Kausalitätsprobleme, d.h. die Mittelbarkeit oder Unmittelbarkeit der Wirkungen von Feuchteänderungen sollen hier nur sekundär diskutiert werden.

Vorliegende Arbeit untersucht Ergebnisse von Körpertemperaturmessungen an Hand der Rektal- und Sublingualtemperatur, sowie Messungen der Wiedererwärmung nach definiertem Kaltreiz am Fuß unter Klimakammerbedingungen im Hinblick auf die in den Punkten 1) bis 3) genannten Probleme.

2. Literaturübersicht

2. 1. Vasomotorische Temperaturregelung

Entsprechend den Raum- und Versuchsbedingungen der Klimakammer interessiert hier der Bereich der sogenannten trockenen, vasomotorischen Temperaturregulation (2) und der Einfluß, den Luftfeuchteänderungen auf die Regelung der Wärmeabgabe und eventuell Wärmeproduktion üben, beziehungsweise auf das Verhalten von Rektal-, Lingual- und Hauttemperatur, auf die Wiedererwärmung am Fuß, sowie der Vasomotorik im Allgemeinen. Abgegrenzt wird dieser Regelbereich nach oben durch beginnende Schweißbildung, nach unten durch chemische Wärmebildung und Muskelzittern, wobei diese Grenze sehr verschieblich ist, hauptsächlich wegen verschiedener Isolationskraft des Gewebes und der Kleidung. Angenähert handelt es sich für den leicht bekleideten Menschen um den Bereich von 20 - 28° C Raumtemperatur (2). Im anglo-amerikanischen Schrifttum wird dieser Regelbereich auch als neutrale oder nur vasomotorisch regulierte Zone bezeichnet (41).

2. 2. Luftfeuchte und subjektives Wärmeempfinden

Thermisches Gleichgewicht in der vasomotorischen Regelzone wird subjektiv als behaglich empfunden. Es gibt verschiedene Komplexgrößen, die diese Behaglichkeitszone erfassen sollen:

Die "effektive Temperatur" ist die Lufttemperatur, die bei 100 % relativer Feuchte gleich empfunden wird wie die wirkliche Temperatur bei wirklicher Feuchte (60). So rufen etwa 20° C bei 100 % rel. Feuchte den gleichen Behaglichkeitseindruck hervor wie 25° C bei 35 % rel. Feuchte.

Die "resultierende Temperatur" kombiniert außer Lufttemperatur und Feuchte noch die Wandtemperatur (42). Es gibt noch eine Reihe solcher Komplexgrößen, siehe Büttner, Gagge, Pfleiderer und andere (5, 60). Sie alle berücksichtigen den Einfluß der Luftfeuchte auf das menschliche Temperaturempfinden.

Graphisch werden diese Verhältnisse meist in Temperatur/Feuchtediagrammen dargestellt, die eventuell durch Einfügen bestimmter Variablen, z.B. Windgeschwindigkeit oder Jahreszeit, ergänzt werden. Auf Äquivalenzlinien sind dann gleiche Temperaturbelastungsstärken bei variierten Umweltbedingungen abzulesen. Lee (37) zeigt Psychrometertafeln mit Äquivalenzlinien des "relative strain", der relativen Inanspruchnahme des thermoregulatorischen Systems des Menschen bei verschiedenen Temperatur- und Feuchteverhältnissen. Dabei zeigt sich, daß in unserem Versuch mit Dampfdruckvariation von 7 bis 17 mm Hg bei Temperaturkonstanz nur eine sehr geringe "Belastung" zu erwarten ist.

Unter Luft- oder Raumfeuchte kann im Folgenden sowohl die relative Feuchte als auch der Dampfdruck gemeint sein, da diese bei Temperaturgleichheit, die hier immer vorausgesetzt sei, parallel laufen.

2. 3. Luftfeuchtewirkung auf Wärmeabgabe

Die Luftfeuchtewirkung auf die Wärmeabgabe kann über mehrere Mechanismen laufen: Hautwasserabgabe, bzw. Perspiratio insensibilis, Wasserdampfverlust über Atmung, schließlich über veränderte Wärmeleitung und Wärmeabstrahlung in feuchter Luft. Gleichbleibende Wärmeproduktion sei vorausgesetzt; ein direkter Einfluß der Feuchte auf die Wärmeproduktion ist nicht zu erwarten und nicht beobachtet worden.

Bei Körperruhe in 20° C Raumtemperatur und 20 % Wasserdampfsättigung der Luft ist der Wasserdampfverlust des unbekleideten Menschen etwa 1200 gr/24 h, entsprechend 700 Kal. Bei relativer Feuchte von 60 - 80 % wird dieser Wert etwa halbiert (44).

Die Perspiratio insensibilis ist häufig in Abhängigkeit von der Luftfeuchte beobachtet worden, wobei die Hauttemperatur geringen (56) und die Raumfeuchte starken Einfluß haben soll (8). Nach anderen Autoren (2, 21, 52) ist der Verdunstungswärmeverlust der Perspiratio insens. relativ unabhängig von Luftfeuchteschwankungen, da die Wasserdiffusion durch die Haut abhängig sei von deren Durchfeuchtungsgrad, was bei trockener Haut relativ gleiche

Wasserabgabe wie bei feuchten Verhältnissen bedeutet, - die Wasserdurchgangszahl der Haut ist also veränderlich. Doch gilt diese Charakteristik nicht für alle Temperatur- und Feuchteverhältnisse und ist interindividuell sehr variabel. Ausführliche Untersuchungen über diese Verhältnisse finden sich bei Heberlein (22) und Till (54).

Sehr vereinfacht stellt sich der Verdunstungswärmeverlust dar als: Q = ß (pH - pL), wobei ß = Verdunstungszahl, in der Klammer die Dampfdruckdifferenz Luft - Haut erfaßt ist. p Haut ist besonders abhängig von der Hauttemperatur bei konstanter Windgeschwindigkeit (vgl. 35). Gleichungen für detailliertere Betrachtungen finden sich bei zahlreichen Autoren (8, 10, 31, 50).

Bleibt die Außentemperatur gleich, so bedingt eine Luftfeuchtevariation jedenfalls Veränderungen der Wärmeabgabe über die Atemluft, da diese dann mit mehr oder weniger Wasserdampf gesättigt wird. In Ruhe im neutralen Bereich bei 20^{o} C und 50 % rel. Feuchte sei dieser Wärmeverlust angenähert 120 - 140 Kal/m^2/24 h (8, 21). Unzureichende Abkühlung der Lungen bei Einatmen feuchter Luft soll eine dämpfende Wirkung auf die Atmung haben, auch wurde dabei eine leichte Erhöhung der Innentemperatur festgestellt (39). An anderer Stelle wird die verminderte Wasserabgabe über die Lungen bei hoher Außenfeuchte als Haupteffekt der Luftfeuchte auf die Wärmeabgabe angesehen, - allerdings bei Versuchen an Schweinen (40).

Physikalisch gesehen hat Luft mit mittlerem bis hohem Wasserdampfgehalt eine geringfügig niederere Wärmeleitfähigkeit als trockene Luft derselben Temperatur (38), eine Tatsache, die oft unberücksichtigt bleibt, von der sogar das Gegenteil behauptet wird. Renbourn (45) fand nach Untersuchungen an Bekleideten keine Bestätigung der Annahme, daß Feuchtluft einen erhöhten Wärmeverlust durch Leitung (conduction) ermögliche. Die Veränderungen des Strahlungsanteils an der Wärmeabgabe in Feuchtluft sind sehr schwierig zu überblicken, selbst wenn Luft- gleich Wandtemperatur ist.

Burton (8) diskutiert eine mittelbare Wirkung der Luftfeuchte auf die Wärmeabgabe über spezifische Eigenschaften der Kleidung, z. B. Wolle: Danach ist denkbar, daß eine zusätzliche Wasserdampfadsorption und -kondensation in der Kleidung bei steigender Luftfeuchte durch freiwerdende Kondensations- und Adsorptionswärme die Temperaturgradienten Haut - Stoff - Luft verringern und somit der nichtevaporative Wärmeverlust herabgesetzt, die Isolation der Kleidung erhöht ist. Doch sind dies schwer zu beurteilende dynamische Verhältnisse.

2. 4. Luftfeuchtewirkung auf Körperkern- und Hauttemperatur

Eine Veränderung der Körpertemperaturgrößen in Abhängigkeit von der Luftfeuchte kann erklärt werden als "physikalisch" bedingt über oben erwähnte Mechanismen der Wärmeabgabe, wobei letztlich indirekt über Thermosensoren eine Neuregelung der veränderten Wärmeabgabe erfolgen wird. Für eine direkte "biologische" Wirkung der Luftfeuchte beim Menschen gibt es keine Hinweise, es müßte dann ein Feuchterezeptor postuliert werden, der etwa in Haut oder Schleimhäuten zu lokalisieren wäre (vgl. 3).

Wachsender Wasserdampfdruck läßt die Kerntemperatur ansteigen und verändert darüber Herzfrequenz und Schlagvolumen (52, 53, 57). Gleichermaßen ist die Hauttemperatur eine Funktion der Luftfeuchte. Die Sublingualtemperatur läuft in bekannter Weise mit einer Differenz von 0,4 - 0,5° C parallel zur Rektaltemperatur, allerdings mit breiter inter- und intraindividueller Streuung und mit der Einschränkung, daß sie rasch durch periphere Temperaturreize veränderbar ist, bzw. dann wie die Körperschale reagieren kann (11, 48).

In Kuruntersuchungen wurde eine positive Korrelation der Körpertemperatur mit Außentemperatur- und Dampfdruckanstieg gefunden, doch konnte eine Entscheidung über den Einflußanteil des Dampfdruckes statistisch nicht erreicht werden (46).

Aus Äquivalenzlinien, die Yaglou in eine Psychrometertafel einge-

fügt hat, sind die Änderungen der sogenannten mittleren Hauttemperatur zu ersehen. Diese steigt nur um Zehntelgrade bei 20° C Raumtemperatur und Feuchteanstieg von 20 % auf 80 %, der subjektive Temperatureindruck bleibt dabei gleich. Gewonnen wurden diese Daten in 3 stündigen Versuchen mit Bekleideten (61). Bedenkt man die Einschränkungen und Vereinfachungen, die der Größe der "mittleren Hauttemperatur" zugrunde liegen, so sind doch erhebliche Änderungen im akralen Effektorenbereich der Temperaturregulation zu erwarten.

Über das Verhalten der peripheren Durchblutung unter definierten Feuchtebedingungen sind mir keine systematischen Untersuchungen bekannt. Einige Arbeiten über Extrembedingungen liegen vor, trennen Temperatur und Feuchteeinfluß nicht und gelten für den Unbekleideten (52). Doch kann gesagt werden, daß die Hautdurchblutung sich im engen Bereich der neutralen Zone, bzw. der vasomotorischen Regulation annähernd proportional zur Hauttemperatur verhält. Für die Hand siehe 4, 18, 32 .

2. 5. Bisherige Klimakammerversuche

Man sieht, wie wenig spezifische Befunde über einen Luftfeuchteeinfluß auf den Wärmehaushalt des Körpers bestehen; gar nicht existieren Meßreihen am Menschen um das einfache meteorologische Element in seiner Rolle bei der Wetterwirkung auf den Organismus zu erfassen. Das führte teilweise dazu, daß eine Einzelwirksamkeit in Frage gestellt (43), oder als zu vernachlässigende Größe angesehen wurde (33, 40). Im natürlichen Wetterablauf ist eine Abtrennung des Temperatureinflusses wohl schwer möglich.

Klimakammerversuche am Menschen wurden bisher entweder zu therapeutischen Zwecken in Klimakabinen durchgeführt (12, 51), oder zu physiologischen Experimenten, zwar meist den Temperaturhaushalt betreffend, dabei aber nur mit kurzfristigen und oft extremen Klimaänderungen (13, 28, 33). In keinem Fall liefen die Versuche länger als 8 bis 10 Stunden, selten waren die übrigen Wetterelemente weitgehend konstant zu halten oder auszuschalten, wie zu fordern wäre.

2. 6. Wiedererwärmung am Fuß nach definiertem Kaltreiz und die konsensuelle Reaktion

Die Wiedererwärmungsmessung ist eine Methode zur Erfassung der peripheren Arteriolenfunktion bzw. der vasomotorischen Reaktionsbereitschaft. Dabei werden vor und nach dem Kaltreiz an einer Extremität Stärke und Geschwindigkeit der Hauttemperaturänderungen gemessen (16, 17, 7, 24, 36).

Die Problematik des Versuchs von Hauttemperaturänderungen auf die Durchblutung zu schließen wurde bereits angedeutet. Zwar ist die Hauttemperatur als Ausgleichsgröße der Körperoberfläche abhängig von einer Großzahl äußerer und innerer Faktoren (Psyche, Nahrungsaufnahme, Volumen-Oberflächenrelation, Behaarung, Bedeckung). Sind jedoch Außenbedingungen und Wärmebildung konstant, so richtet sich die Hauttemperatur nach der Durchblutung. Uns interessieren weniger die Absolutwerte der Durchblutungsgrößen als relative Unterschiede von Tag zu Tag und von Person zu Person bei weitgehend unveränderten beeinflussenden Faktoren, außer der Luftfeuchte natürlich.

Die Wiedererwärmungsreaktion wird zu diagnostischen Zwecken durchgeführt, zur Bestimmung von individuellen Reaktionstypen (20, 23, 24), ferner zur Prognose und Verlaufskontrolle hydrotherapeutischer Maßnahmen (16, 17). In einer jüngeren Arbeit (30, 34) werden damit geschlecht- und altersspezifische Eigenheiten der peripheren Durchblutung untersucht.

Die physiologischen und physikalischen Zusammenhänge der Wiedererwärmung und konsensuellen Reaktion sind bei Dirnagl und Drexel (16, 17) besonders ausführlich dargestellt, sowie bei oben genannten Autoren. Sofern nötig wird darauf noch eingegangen.

Die konsensuelle Reaktion bedeutet eine gleichsinnige Temperatur oder Durchblutungsänderung während und nach dem Kaltreiz, die fast den gesamten Hautbereich betrifft, auch die Schleimhäute, und an Rumpf und Extremitäten gegensinnig verlaufen kann (2, 5, 11, 15, 16, 17, 20, 27). Wie die Wiedererwärmungsreaktion gibt sie Auskunft über die periphere Vasomotorik.

3. Allgemeine Methodik

3. 1. Organisation des Klimakammerversuchs

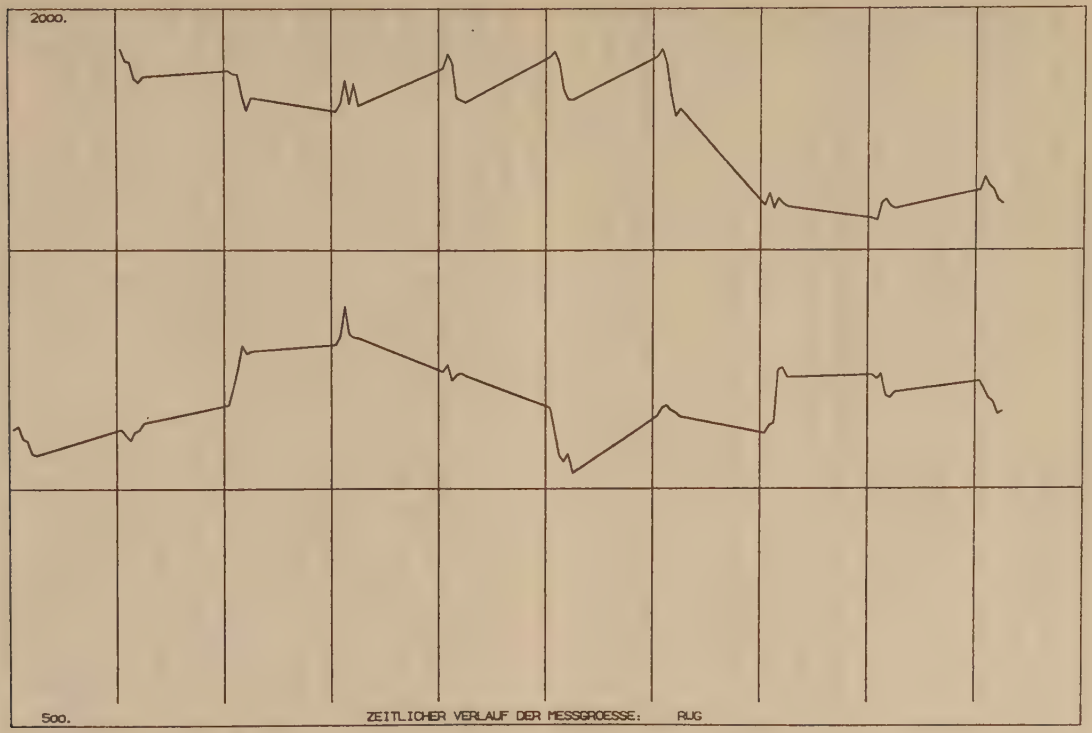
3. 1. 1. Der Klimaraum

Der Klimaraum hat eine 3,30 x 4,50 m große Wohnfläche (15 m^2) und ist durch eine Schleuse zugänglich. Dazu gehören Wasch- und Toilettenraum und eine Abstellecke für Geräte. Die Möblierung war den Versuchspersonen überlassen und verband größtmögliche Bequemlichkeit mit Zweckmäßigkeit. Es sind drei Fenster vorhanden, nach außen mit Spezialjalousien verschlossen; in den Fensternischen sind Xenonhochdrucklampen montiert, die eine indirekte Beleuchtung mit Tageslichtcharakter liefern; die Helligkeit ist stufenlos regulierbar. Ein Fenster war fast immer verhangen, womit eine dunklere "gemütliche Ecke" geschaffen wurde. Daneben besteht normale Beleuchtung mit Leuchtstoffröhren für abends und nachts; sie wurde meist nach 19 Uhr vor dem Abendessen eingeschaltet. Eine abdeckbare Durchsicht zum Nebenraum, in dem ein Großteil der Meß- und Versuchsgeräte aufgestellt war, ermöglicht Sichtkontakt zum Versuchsleiter.

Außenkontakte ohne Verlassen des Raumes waren möglich über kurze Besuche, Zeitungen, Radio, Fernsehen, Wechselsprechanlage zum Nebenraum, Telefon.

Nach drei Tagen Gewöhnungsaufenthalt im Klimaraum begann der Versuch am 1. 8. 1969 22 Uhr und lief bis 20. 8. 1969 19 Uhr. Am 18. 8. 14 Uhr wurde der Raum bereits geöffnet und die Versuche unter Außenklimabedingungen abgeschlossen, wobei sich die Versuchspersonen auch außerhalb des Raumes aufhalten konnten.

Während dieser 19tägigen Versuchsperiode herrschten folgende Raumklimaverhältnisse (Kurve 1).



Kurve 1 a

Periodenverlauf der Raumfeuchte. In der ersten Reihe die Tage 1 bis 9, darunter die Tage 10 bis 19. Die Ordinatenskala von 5 bis 20 mm Hg Dampfdruck.

Kurve 1 b

Periodenverlauf der Raumtemperatur. Ordinatenskala von 10 bis 20° C. Außerdem sind in jede Tagesspalte die mittleren täglichen Luftdruckwerte (mm Hg) für München-Großhadern eingefügt (Angaben aus dem Wetteramt München, Bavariaring).

3. 1. 2. Raumklimaverhältnisse

Variiert wurde der Wasserdampfdruck der Luft und jeweils über eine bestimmte Zahl "trockener" und "feuchter" Tage möglichst konstant gehalten. Die Werte sind aus Kurve 1 zu entnehmen.

Feuchte Tage: 1. - 6. Tag 24 Uhr und
12. - 15. Tag, jeweils 12 Uhr.

Trockene Tage: 7. Tag 0 Uhr - 12. Tag 12 Uhr
15. Tag 12 Uhr - 17. Tag 14 Uhr.

Außenklima: Rest des 17. Tages bis 19. Tag.

Die Raumtemperatur betrug vom 1. - 17. Tag im Mittel 21 $\pm$ 1° C. Lufttemperatur = Wandtemperatur (heizbare Wände).

Beide Klimagrößen sollten die Tagesschwankungen wie im natürlichen Wetterablauf nachahmen. Wie aus Kurve 1 zu sehen ist, ereigneten sich mitunter technisch bedingte, doch glücklicherweise kurzfristige Sollabweichungen. Außerdem zeigen beide Größen einen ebenfalls technisch bedingten Trend über die Versuchsperiode. Dieser wird statistisch berücksichtigt.

Die Luftdruckschwankungen entsprachen dem Außenklima. Schwankungsbreite 9,9 mm Hg. Daten vom Wetteramt, München Bavariaring, für München-Großhadern 550 m Seehöhe (Kurve 1).

Windgeschwindigkeit 15 - 20 cm/sec (Windstille nach Beaufortskala), bei 1000 m^3/h Luftumsatz und 50 m^3 Raumvolumen.

Die elektromagnetische Strahlung wird bis in den Dezimeterbereich durch einen in die Wände eingelassenen Faraday'schen Käfig abgeschirmt.

Die Lichtstärke entsprach einem normalen Sonnentag.

Die Luftionisation wurde gemessen und war ähnlich dem Außenklima.

3. 1. 3. Versuchspersonen

Die Versuchspersonen waren drei miteinander gut bekannte Medizinstudenten, alle 25 Jahre alt und gesund.
VP 1 war 180 cm groß, 75 kg schwer, athletisch gebaut;
VP 2 177 cm, 63 kg, leptosom im Körperbau;
VP 3 175 cm, 72 kg, athletisch.

Die Bekleidung bestand vorwiegend aus kurzer Hose und Hemd, gelegentlich ein Trainingsanzug, leichte Fußbekleidung, das heißt Sandalen und dünne Socken.

Täglich wurden vier Mahlzeiten gegeben, das Abendessen nach freier Wahl; Getränke in Menge und Art nach Belieben. Kein Alkohol und Nikotin.

Am Versuch waren außerdem unmittelbar beteiligt: Ein gleichaltriger Medizinstudent als Versuchsleiter, zugleich wichtigste Kontaktperson. Ferner ein Psychiater aus der Universitäts-Nervenklinik, der 5 Mal in regelmäßigen Abständen erschien zu Diskussionen über individuelle und gruppendynamische Probleme.

3. 1. 4. Tagesablauf

Der Tagesablauf war stereotyp eingeteilt. Alle Untersuchungen und Messungen liefen immer zur gleichen Tageszeit, wobei einzelne nur ein oder zwei Mal durchgeführt wurden, bei den übrigen erstellten wir "Tagesprofile", indem bis zu sechs Mal gemessen wurde. Soweit als nötig untersuchten sich die Versuchspersonen dabei in gleicher Reihenfolge gegenseitig. Ebenso wurden die Meßdaten protokolliert.

Zur Erleichterung der Auswertung ist jeder Tag in gleiche Abschnitte bzw. Meßperioden gegliedert:

Tageszeit	7–9 Uhr	9–11 Uhr	11–13 Uhr	13–15 Uhr	15–17 Uhr
Meßperiode	1	2	3	4	5

Tageszeit	17-19 Uhr	19-21 Uhr	21-7 Uhr
Meßperiode	6	7	8 (Nacht)

Früh 7 Uhr die erste Messung, 7.45 - 8.30 Uhr Frühstück, 13 - 14.30 Uhr Mittagspause, ca. 17 Uhr Teepause, ab 19.15 Uhr Abendessen und "Freizeit", d.h. keine Messungen, Bettruhe ab 22.30 Uhr.

3. 2. Abkürzungen

Es gelten folgende Zeichen und Symbole:

RWG Raumwassergehalt = Dampfdruck in mm Hg
RTT Raumtemperatur
VP 1, VP 2, VP 3, die Versuchspersonen

ATT Ausgangs- bzw. Anfangstemperatur von 1. Zehe und Fuß
EWR Wiedererwärmungsreaktion
WEZ Wiedererwärmung, gebadeter Fuß, Zehe
WER Wiedererwärmung, gebadeter Fuß, Rücken
KOR Konsensuelle Reaktion
WKZ Reaktion an konsensueller Zehe
WKR Reaktion an konsensuellem Fußrücken
TTL Sublingualtemperatur
TTR Rektaltemperatur

Versuchsperiode bedeutet die gesamte 19tägige Versuchsdauer; Periodenverlauf das Verhalten einer Variablen in dieser Zeit; PMW Periodenmittelwert.

3. 3. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Meßdaten bzw. Ergebnisse wurde mit dem Computerprogramm BMDX69 - Varianz/Covarianzanalyse - gerechnet.

Variable sind die Meßgrößen der einzelnen Versuche, also Rektaltemperatur (TTR), Lingualtemperatur (TTL) etc., Covariable sind Raumfeuchte (RWG) und Raumtemperatur (RTT). Der "Wert" einer Meß-

größe x wird aufgefaßt als Summe charakteristischer Anteile von Einflußgrößen. Die Einflußgrößen (Haupteffekte) werden mit den Indices P, T, M bezeichnet: P für die Versuchsperson k, T ein charakteristischer Wert für Versuchstag j und Versuchsperson k, M für die Meßzeit i, Versuchstag j und Versuchsperson k.

$x_{ijk} = P_k + T_{jk} + M_{ijk} + E_{ijk}$

Es bedeuten also:

- P_k einen konstitutionellen (individuellen) Faktor
- T_{jk} Schwankungen von Tag zu Tag, die auch Trend und Trainingseffekte bedeuten können.
- M_{ijk} einen endogenen oder aufgeprägten Tagesrhythmus
- E_{ijk} ein Streuglied, als Zufallsgröße zu betrachten.

In diesem Programm wird der Anteil der Einflußgrößen P, T, M an der Gesamtvarianz am hierarchischen Modell errechnet. Die Haupteffekte werden in diesem vollhierarchischen System betrachtet:
1. von der Stufe P (Mittel der 3 VP)
2. von der Stufe VP 1, 2, 3 (Einzelwerte der Personen)
Die Kurzbezeichnungen der übergeordneten Effekte sind in Klammern den nachgeordneten Effekten beigefügt (also hat Komp. P keine Beifügung, s.u.), womit die hierarchische Anordnung symbolisiert ist.

Auf der Stufe P im vollhierarchischen System werden folgende Symbole verwandt:
1. Komponente P, sagt aus über die Variabilität innerhalb der Versuchspersonengruppe. Errechnet wird ein Mittelwert aus der Summe aller Messungen eines Versuches (aus Personen, Tagen, Meßzeiten) und die Summen der Abstandsquadrate der Mittelwerte aus allen Tagen und Meßzeiten für jede Person.

2. Komponente T (P), Variabilität der Tagesmittelwerte. Errechnet wird für jede VP ein Gesamttagesmittelwert (= Periodenmittelwert), für jede VP 19 Tagesmittelwerte, daraus für jede VP die Summe der 19 Abstandsquadrate. Aus diesen 3 Summen schließlich eine Gesamtsumme.

3. Komponente M (PT), Variabilität der Meßzeiten. Errechnet wird die Summe der Abstandquadrate der Einzelmeßwerte vom zugehörigen

Tagesmittelwert jeder VP über 19 Tage. (Keine Komponente M (PT) wenn nur einmal täglich gemessen wurde).

Auf Stufe VP 1, 2, 3 im vollhierarchischen System gelten folgende Symbole:
1. Komponente T, bezeichnet den Haupteffekt der Tage auf das Verhalten einer Meßgröße ohne Rücksicht auf einzelne VP. Errechnet wird eine Summe der Abstandquadrate aus 19 Tagesmitteln aus Personen und Meßzeiten gegen das Gesamtmittel PTM, womit das Meßgrößenverhalten über die Versuchsperiode bestimmt ist.

2. Komponente M (T), beinhaltet den Haupteffekt der Meßzeiten innerhalb der Tage ohne Berücksichtigung der Einzelpersonen, das heißt, es wird das Verhalten einer Meßgröße im Tagesverlauf charakterisiert. Errechnet wird die Summe der Abstandsquadrate der Meßzeiten und VP über 19 Tage.

Durch die Varianzanalyse erhält man Aussagen über die Gesamtheit der Änderungen, die an einer Meßgröße sich vollziehen, indem man Art und Anteil der bestimmenden Einflußgrößen (Komponenten) betrachtet. Auf den Computerbögen sind die zu den Komponenten gehörenden Anteile der Varianz in den Kreuzproduktmatrizen ausgedruckt.

Es bedeutet:
Varianzanteil P $\leq$ T (P): Die Verläufe der Meßgröße der drei VP verhalten sich gleichsinnig und auf ähnlichem Niveau. Es ist eine gemeinsame Bewertung möglich.

Wenn T $\leq$ M (PT), liegt ein Tagesgang vor, das heißt, die Meßgrößen müssen im Tagesablauf systematisch angeordnet sein.

Das mit der Tagesziffer gebildete Kreuzprodukt gibt an, welcher Anteil der Varianz einer Meßgröße durch einen linearen Trend bedingt ist.

Außer dem hierarchischen System wurden noch die Wechselwirkungen gerechnet. Sie wurden lediglich zu ergänzenden Betrachtungen in die Auswertung einbezogen.

Komp. T, Komp. M (PT), Komp. PT, Komp. PM (T). Es sei nur die folgende Beziehung erwähnt:
Wenn Varianzanteil PM (T) $\leq$ M (PT), dann haben die Meßgrößen der VP ein ähnliches Verhalten im Tagesablauf.

Varianzanteil PT $\leq$ T bedeutet gemeinsamen Meßgrößenverlauf der VP von Tag zu Tag, je größer T, desto gleichmäßiger laufen die Meßgrößen der Einzelpersonen miteinander.

Zur Prüfung der Signifikanz der Aussagen der oben angegebenen Verhältnispaare dient die F-Verteilung (vgl. Geigy Tabellen S. 41). Zum Beispiel:

$$\frac{\text{T (P)-Varianz : nT (P)}}{\text{P-Varianz : nP}} = F$$

n = Freiheitsgrade, und zwar entsprechend den Komp.

P	/ P - 1	= n
T (P)	/ P (T - 1) - 1	= n
M (TP)	/ T P (M - 1) - 1	= n
T	/ T - 1	= n
M (T)	/ T (M - 1)	= n

P = Zahl der Versuchspersonen; T = Zahl der Versuchstage;
M = Anzahl der Messungen pro Tag.

Die Beziehungsgleichungen zwischen einzelnen Meßgrößen können durch Regressionskoeffizienten quantifiziert werden.

Die Korrelationsanalyse ergibt sich aus den ausgedruckten Korrelationsmatrizen, aus denen die Korrelationskoeffizienten /r/ direkt ablesbar sind. Wir erhalten damit Auskunft über den linearen Anteil der Beziehungen zwischen Meßgrößen (die echte Beziehung kann kurvenförmig sein), und zwar zwischen Variablen untereinander und Variablen mit Kovariablen RWG und RTT. Die Koeffizienten /r/ sind so gerechnet, als wäre RWG gegen RTT konstant und umgekehrt.

/r/ wird als beachtenswert betrachtet, wenn die Wahrscheinlichkeit 2α für ein zufälliges Auftreten der beobachteten Werte den Wert 0,1 unterschreitet. Mit Berücksichtigung der Freiheitsgrade n läßt sich /r/ für 2α direkt aus den Tabellen ablesen (Geigy S 61).

Freiheitsgrade:

P / P - 2 = n
T (P) / P (T - 1) - 2 = n
M (PT) / PT (M - 1) - 2 = n
T / T - 2 = n
M (T) / T (M - 1) - 2 = n

Eine Trendbereinigung ist nötig um eine Korrelation aufgrund zufällig gemeinsamer Trends auszuschließen. Das betrifft meistens Korrelationen der abhängigen Variablen mit den unabhängigen der Raumfeuchte und Raumtemperatur, da diese mehr oder weniger gegen Versuchsende hin abfallen.

Formel zur Trendbereinigung der Korrelation der Variablen a und b:

$$r_{ab_{bereinigt}} = \frac{r_{ab} - (r_{aTAZ} \quad r_{bTAZ})}{\sqrt{1 - (r_{aTAZ} \quad r_{bTAZ})^2}}$$

r_{aTAZ} ist die Korrelation der Meßgröße a mit der Tagesziffer.

Wir benützen noch das Bestimmtheitsmaß r^2, das angibt zu welchen Teilen eine Größe die Änderungen der anderen erklären könnte.

Die graphischen Darstellungen sollen den Rechenergebnissen Anschaulichkeit geben und werden mit diesen verglichen. Ferner ermöglichen sie zusätzliche Aussagen über die Periodengänge der Meßdaten, Tagesgänge, individuelle Unterschiede der Verläufe, Trends, Beziehungen zum Verlauf von RWG und RTT. Schließlich können Kurvenverläufe ihrerseits Fragestellungen und Entscheidungshilfe für mathematisch - statistische Analysen bei künftigen Versuchen geben.

Zur Aufbereitung für den Computer und die graphische Darstellung wurden die Meßdaten der einzelnen Versuche in ihrem Tages- und

Periodengang nach Personen getrennt auf Lochkarten aufgenommen. Meßergebnisse, die nicht in einer Meßzahl faßbar sind, sondern sich z.B. in Kurvenverläufen darstellen, wie bei der Wiedererwärmungsreaktion, wurden zu einer übersichtlichen Zahl von Kennziffern bzw. den Kurvenverlauf bestimmenden Größen zusammengefaßt, die dann als Variable in das Rechenprogramm eingingen. Genaueres s.u.

Wir haben Versuchsmethoden mit ähnlichen physiologischen Grundlagen zu Rechengruppen zusammengefaßt, um spätere Untersuchungen über die Wechselbeziehungen bestimmter Versuche zu erleichtern.

Zeichen und Abkürzungen für Korrelationsbeziehungen:

/r/ Korrelationskoeffzient positiv, /-r/ negativ,
TAZ Tagesziffer
RWG/ATT eine positive Korrelation z.B.
RWG/WEZ,WER eine positive Korrelation mit jeder der beiden Variablen
TAZ/ATT ein positiver Trend der Größe ATT
RTT 1/TTR eine negative Korrelation z.B.
TAZ 1/ATT ein negativer Trend der Größe ATT.

4. Spezielle Methodik

4. 1. Wiedererwärmung und konsensuelle Reaktion

4. 1. 1. Versuchsaufbau und -ablauf

Verwendet wurden vier Konstantan-Manganin Thermoelemente mit etwa $\pm$ 0,1° C Meßgenauigkeit, (Beschreibung bei 18). Sie waren vorher geeicht worden und verhielten sich im Bereich von 15 - 40° C proportional. Da die Steigungen der Eichkurven sehr geringfügig voneinander abwichen, wurde ein Fühler immer für die gleiche Meßstelle verwandt.

Das Gegenelement ist in einem Thermostaten von konstant 34° C eingebaut. Über einen Mehrfachpunktschreiber wurde registriert. Eine Kühlspirale aus Kupferrohr hielt den Wasserbehälter für das Fußbad stets auf 15° C.

Versuchszeit war täglich von 12 Uhr bis 12.45 Uhr vor dem Mittagessen. Die Thermoelemente wurden an beiden Füßen jeweils am Fußrücken etwa über dem Os cuboideum und an den Plantarseiten der Großzehe mit schmalen Gummibändern befestigt.

Über eine Zeit von 3 - 5 min wurden die Ausgangshauttemperaturen (ATT) registriert, wobei sich die VP ablenkte, z.B. durch Lesen, um sogenannte Erwartungsreaktionen zu mindern. Körperhaltung halb liegend, die Beine unter Herzniveau. (Auch die Körperhaltung beeinflußt die Hauttemperatur.) Auf Signal taucht VP den rechten Fuß ohne Meßfühler in das Wasserbad für genau eine Minute - währenddessen die Registrierung am linken konsensuellen Fuß weiterlief.

Anschließend wird der gebadete Fuß ohne Reiben durch Abtupfen getrocknet, die Temperaturfühler wieder angelegt und über 5 - 7 min weiterregistriert.

4. 1. 2. Datenaufbereitung

Zum Verständnis ist die Betrachtung der Beispielkurven der Wiedererwärmung und konsensuellen Reaktion nötig (Kurve 2). Jeder Meß-

stelle entspricht eine Kurve. Zwei Erwärmungskurven für Fußrücken und Zehe am gebadeten Fuß, zwei konsensuelle Kurven. Von jeder der vier Kurven wurde abgetragen:

Vor dem Bad: Der mittlere Ausgangswert (ATT)

Während des Bades: 2 x 4 Punkte für die konsensuelle Reaktion

Nach dem Bad: 4 x 13 Punkte an allen Meßstellen

Die Zeitdifferenz zwischen den Punkten beträgt 24 $\pm$ 6 sec.

Es läßt sich dies tabellarisch darstellen (unter Verwendung von Abkürzungen):

Abgetrag. Kurvenpunkte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Erwärmungszehe WEZ	ZE1	Bad				ZE2						ZE3					
Erwärmungsfußrücken WER	RE1	Bad				RE2						RE3					
Konsens. Zehe WKZ	ZK1	ZKA		ZKB		ZK2						ZK3					
Konsens. Fußrücken WKR	RK1	RKA		RKB		RK2						RK3					
Zeit min	0	0.5		1.0		2.0						4.0					

Damit ist jede Kurve in ihrem Verlauf erfaßt durch ATT und weiteren 2 bzw. 4 charakteristischen Kennwerten, die ebenfalls als Variable in das Rechenprogramm eingehen. Die Kennwerte drücken die mittlere Abweichung des betreffenden Kurvenabschnittes vom Ausgangswert aus, z.B.:

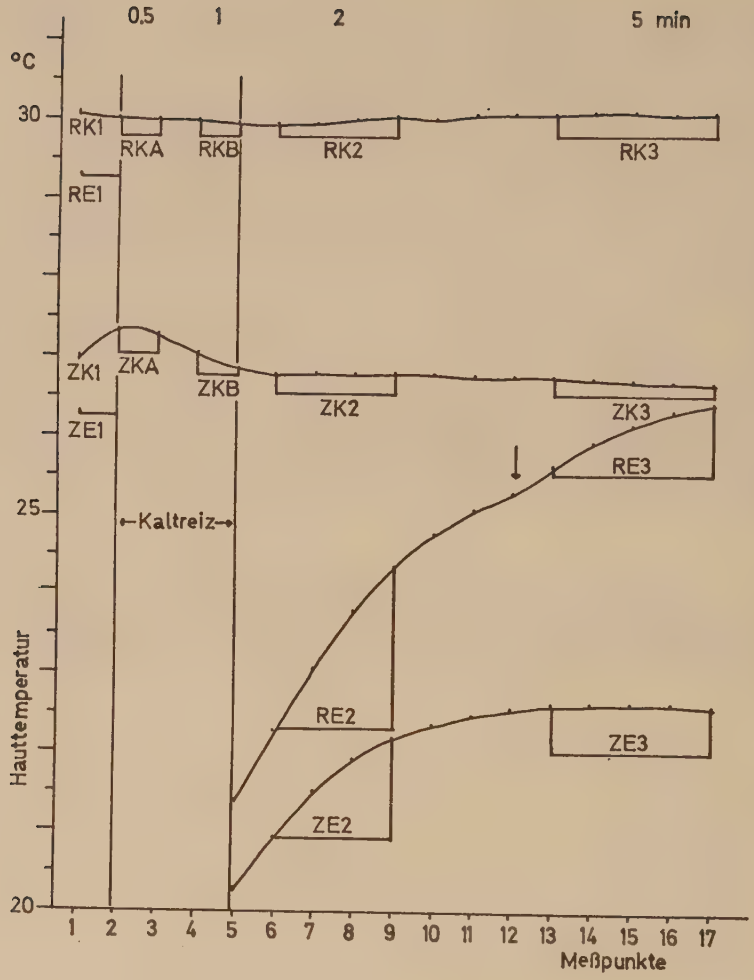
ZK1 = WKZ 1 = Ausgangswert

$$ZKA = \frac{1}{2} \sum_{2}^{3} WKZ_i - ZK1$$

$$ZKB = \frac{1}{2} \sum_{4}^{5} WKZ_i - ZK1$$

$$ZK2 = \frac{1}{4} \sum_{6}^{9} WKZ_i - ZK1$$

$$ZK3 = \frac{1}{5} \sum_{13}^{17} WKZ_i - ZK1, \text{ desgleichen für WKR, WEZ usw.}$$



Kurve 2

Zeitlicher Ablauf eines Erwärmungsversuches. Die vier Einzelkurven entsprechen den vier Meßstellen und ergeben sich aus den Mittelwerten der Meßpunkte (1 - 17) über Personen und Tage. Man beachte die Lage der charakteristischen Kennwerte (RE2, ZE2 usw.).

4. 2. Rektal- und Sublingualtemperaturmessungen

Die Rektaltemperatur (TTR) wurde aus Zeitgründen nur zweimal täglich gemessen, morgens und abends im Bett liegend, mit einem herkömmlichen Fieberthermometer, bei minimal 4 cm Meßtiefe.

Meßzeit ± 15 min	7 Uhr	21.30 Uhr
Meßperioden Nr.	1	8

Ebenfalls mit einem normalen Fieberthermometer wurde die Sublingualtemperatur (TTL) gemessen. Mindestens eine halbe Stunde vor der Messung durften keine kalten oder heißen Getränke genossen werden und sollte nicht lange gesprochen oder gesungen und möglichst durch die Nase geatmet werden. Trotzdem ist diese Methode mit großen Ungenauigkeiten belastet.

Meßzeit ± 8 min	9 Uhr	11 Uhr	13 Uhr	15 Uhr	17 Uhr	19 Uhr
Meßperioden Nr.	2	3	4	5	6	7

5. Ergebnisse

5. 1. Zur Wiedererwärmung

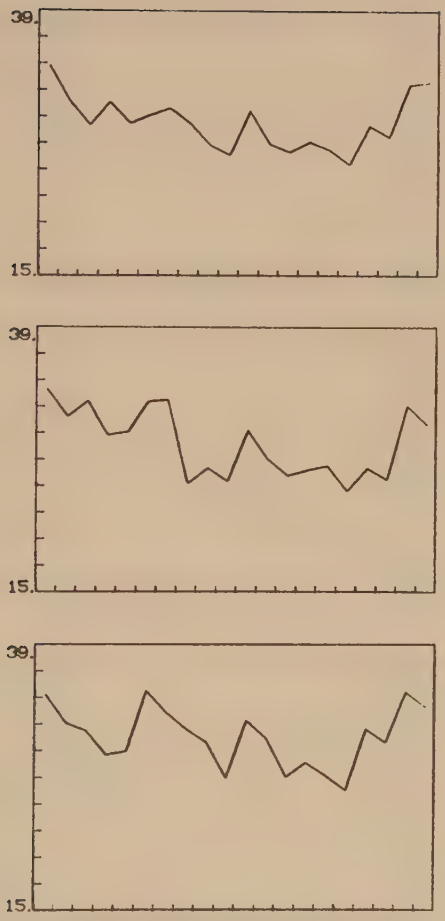
Wir untersuchen:
a) Die Ausgangstemperatur (ATT), das ist die Temperatur der Meßstelle vor dem Kaltreiz.
b) Die Wiedererwärmungsreaktion und die Geschwindigkeit derselben, das ist die Kurve des Temperaturanstieges nach dem Kaltreiz, untersucht bezüglich Anstiegsteilheit und Endniveau der Temperaturen.
c) Die konsensuelle Reaktion (KOR).

Dabei wird jeweils gefragt nach:
- Korrelationen von ATT, EWR, KOR, mit RWG und RTT
- Einem Trend dieser Größen und das Verhalten über die Versuchsperiode.
- Nach individualtypischem Verhalten, da die VP selten gemeinsame, gleichsinnige Verläufe und Relationen zeigen. (Keine signifikante Beziehung von Komp. P - Komp. T (P).

Kurve 2 zeigt ein Übersichtsbild vom zeitlichen Ablauf des Versuches. Die Meßpunkte der vier Unterkurven sind über Personen und Tage gemittelt. Die Kenngrößen erfassen die entscheidenden Phasen der Verläufe. Die Differenz zwischen konsensuellem (linken) und Erwärmungsfuß ist hauptsächlich durch die höhere Temperatur des linken Fußes bei VP 1 bedingt (vgl. Kurven 3 - 6).

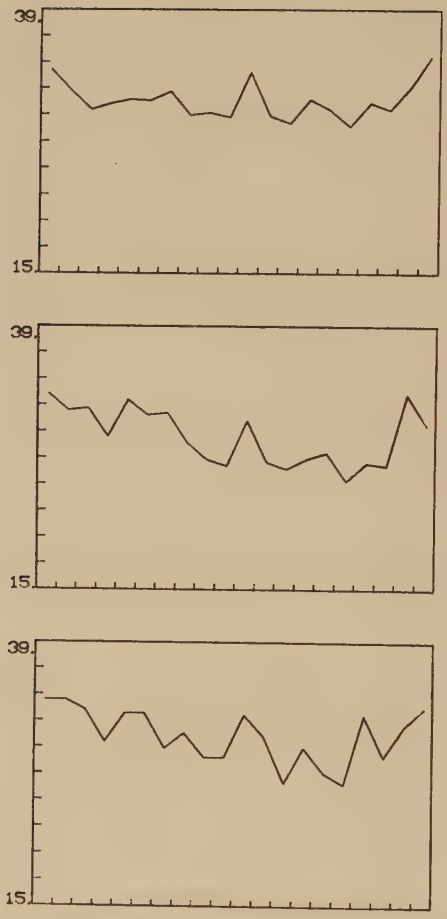
Man beachte den Knick zwischen RE2 und RE3. Dieser könnte zufällig bestehen oder Ausdruck einer Zweiphasenreaktion mit passiver und aktiver bzw. vasomotorischer Erwärmung sein (siehe später).

Anmerkung:
Von den Originalkurven wurden die Rohwerte in Skalenteilen abgelesen, derart, daß niedere Skalenwerte hohe Temperaturen bedeuten und umgekehrt. Dies erforderte eine Vorzeichenänderung bei gewissen Korrelationskoeffizienten.

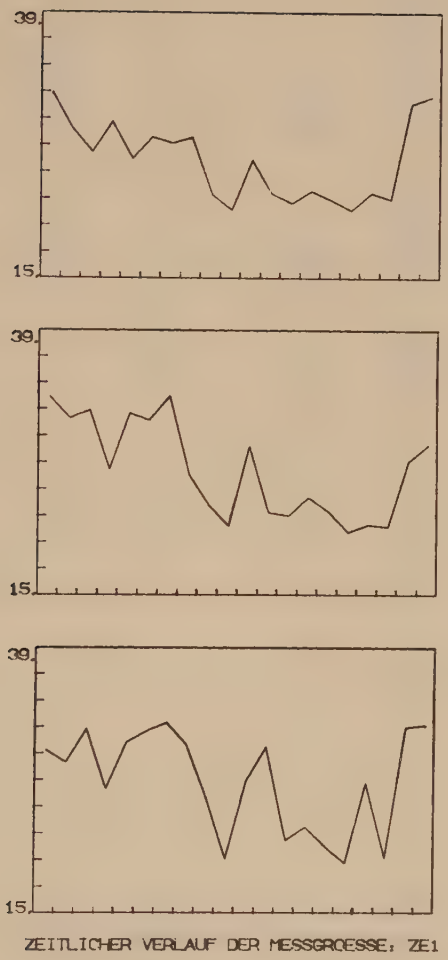


Kurve 3

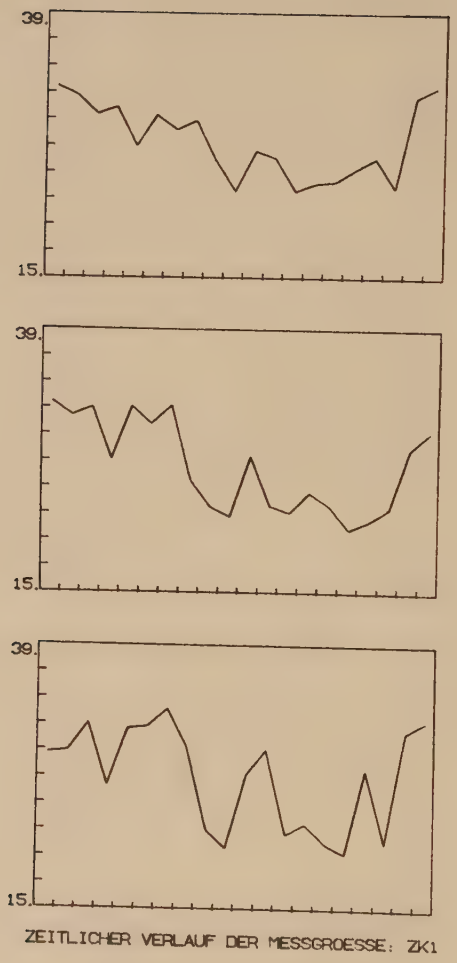
Periodenverlauf der Ausgangstemperaturen des Erwärmungsfußrückens, von oben nach unten VP 1 bis VP 3. Ordinatenwerte 15^{o} C bis 39^{o} C, auf der Abszisse die Meßtage.



Kurve 4
Periodenverlauf der Ausgangswerte des konsensuellen Fußrückens für jede Versuchsperson.



Kurve 5
Periodenverlauf der Ausgangstemperaturwerte der Wiedererwärmungszehe für jede Versuchsperson.



Kurve 6

Periodenverlauf der Ausgangstemperaturwerte der konsensuellen Zehe für jede Versuchsperson.

	RTT	ZE1	ZK1	RE1	RK1	TAZ
RWG						
VP 1	0.42	0.41	0.37	0.38	0.21	-0.54
VP 2		0.68	0.70	0.66	0.60	
VP 3		0.38	0.44	0.23	0.35	
RTT						
VP 1		0.61	0.61	0.54	0.46	0.0
VP 2		0.53	0.61	0.58	0.48	
VP 3		0.56	0.59	0.40	0.34	
ZE1						
VP 1			0.95	0.95	0.70	-0.22
VP 2			0.99	0.90	0.92	-0.59
VP 3			0.98	0.83	0.77	-0.34
ZK1						
VP 1				0.88	0.82	-0.30
VP 2				0.91	0.94	-0.55
VP 3				0.81	0.80	-0.33
RE1						
VP 1					0.82	0.0
VP 2					0.91	-0.40
VP 3					0.75	0.0
RK1						
VP 1						-0.15
VP 2						-0.42
VP 3						-0.32

Tabelle 1
Korrelationsmatrix der Ausgangstemperaturwerte, Klimagrößen und Tagesziffern aller Versuchspersonen.
Komp. T VP 1 - VP 3, n = 17, s = 0.38, p = 0.01

	VP 1	VP 2	VP 3
ZE1	25,3	26,0	26,8
ZK1	27,1	26,2	26,9
RE1	28,6	28,1	30,5
RK1	30,6	28,7	30,3

Tabelle 2
Periodenmittelwerte der Ausgangstemperaturen der Versuchspersonen in ^{o} C.

5. 1. 1. ATT = Ausgangstemperatur

In Komp. T (P) und Komp. T VP 1 - 3 korrelieren alle vier Ausgangstemperaturwerte hoch signifikant miteinander.

Temperaturänderungen an Zehe und Fußrücken laufen somit gleichsinnig während der Versuchsperiode.
RE1 - ZE1 = 2,9° C und RK1 - ZK1 = 3,0° C beträgt der mittlere Temperaturabfall vom Rücken zur Zehe für Erwärmungs- und konsensuellem Fuß im Personenmittel. Der Fußrücken ist nicht nur wärmer, über die Versuchsperiode läuft die Kurve auch gedämpfter bei allen VP. (Man vergleiche die Kurven Nr. 3 und 4 der Fußrückenwerte mit den Kurven 5 und 6 der Zehenwerte).

Die Kurven 3 - 6 der Ausgangswerte zeigen eine auffällige Reduzierung der Meßstellentemperaturen bis zum 17. Tag um ca. 7° C an Zehe und 3,5° C am Fußrücken, dieser am stärksten bei VP 2 (Kurve 3 und 4). Am 18. und 19. Tag bei Außenklima und Außenaufenthalt erfolgt wieder ein sprunghafter Anstieg auf die Werte von Tag 1 und 2.

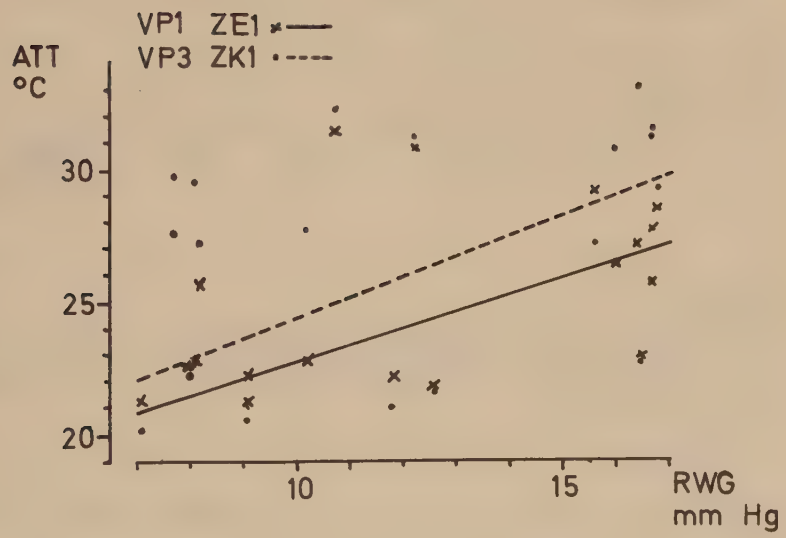
Auch rechnerisch besteht ein negativer Trend dieser Werte für die Zehen aller VP, signifikant nur bei VP 2, hier auch für den Rücken (Tabelle 1). VP 2 erreicht also in den beiden letzten Tagen die Anfangsfußtemperaturen nicht. VP 2 hat außerdem die tiefsten Fußtemperaturen im Periodenmittel (Tabelle 2). Bei VP 1 ist der konsensuelle Fuß wärmer als der rechte, worauf bereits hingewiesen wurde.

Die Korrelationen ATT/RWG müssen trendbereinigt werden, hauptsächlich für VP 2, da signifikante Beziehungen bestehen.

Danach ergibt sich:
Für VP 1 eine signifikant positive Korrelation mit RWG zeigt nur die Erwärmungszehentemperatur, entsprechend einem Regressionskoeffizienten von etwa 6° C / 10 mm Hg RWG (Kurve 7).

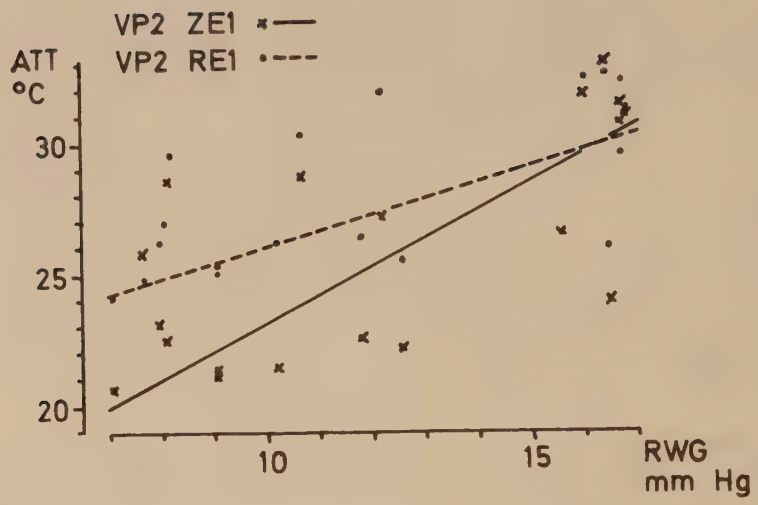
VP 2, hier reagieren alle Temperaturen auf RWG, am Erwärmungsfuß die Zehe 10^{o} C / 10 mm Hg, der Rücken 5^{o} C / 10 mm Hg (Kurve 8).

VP 3, nur die ATT der konsensuellen Zehe reagiert mit 6^{o} C / 10 mm Hg RWG (Kurve 7).



Kurve 7

Zehenausgangstemperaturen in Abhängigkeit von Raumfeuchte. Erwärmungszehe der VP 1 (x, ——), konsensuelle Zehe der VP 3 (., - -).



Kurve 8
Ausgangstemperaturen des Erwärmungsfußes in Abhängigkeit von Raumfeuchte bei VP 2, für Erwärmungszehe (x, ——) und Erwärmungsfußrücken (., - -).

Immer streuen die Werte des 18. und 19. Tages stärker; auch die Werte von Tagen mit Feuchtesprung verdienen Aufmerksamkeit, da sie weiter abzuweichen scheinen. Außerdem fällt auf, daß die ATT Werte im Bereich 15 - 17 mm Hg RWG weniger streuen als die den niederen Raumfeuchten zugeordneten. Eine genauere Analyse der Feuchteabhängigkeit von Hauttemperaturen würde mehr Messungen pro Person und Tag erfordern.

Erstaunlich ist die signifikante Korrelation ATT/RTT aller VP und Meßstellen (Tabelle 1), zumal RTT mittags zur Meßzeit 4 nur sehr gering schwankte (21,7 - 1,1° C) und keinen Trend aufweist. Erst am 19. Tag stieg RTT erheblich auf 25° C.

5. 1. 2. EWR = Erwärmungsreaktion

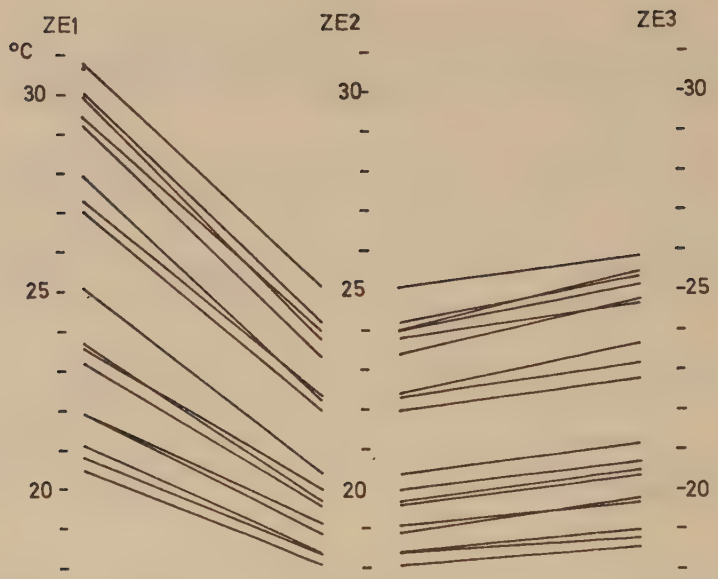
Ausgangstemperatur und Erwärmungskurve:
Signifikant in Komp. T VP 1 - 3 sind die Korrelationen ZE1 1/ZE2, ZE3, sowie RE1 1/RE2, RE3, RE1 1/ZE2, ZE3 und ZE1 1/RE2.

Beide Erwärmungskurven, ausgedrückt in ZE2, ZE3 usw., korrelieren mit jeweils beiden Meßstellen-ATT derart, daß bei hohem ATT die Kurvenkennwerte hohe mittlere Differenzen zu ATT zeigen und umgekehrt (ZE2, RE2 1 min, ZE3, RE3 4 min nach Kaltreiz). Das bedeutet eine relative Ausgangswertunabhängigkeit der Erwärmungskurve.

Kurve 9 gibt diese Beziehung in Absolutzahlen für die Personenmittel ZE1 und ZE2 wieder. Die Steigung ZE1 gegen ZE2 wird nach unten, mit abnehmenden ATT, zunehmend flacher. Bei Senkung der ATT von 30^{o} C auf 20^{o} C fällt ZE2 statt um 6 Grad nurmehr um 3 gegen ZE1.

Die Ausgangslage ist also in diesem Temperaturbereich mit etwa 50 % Einfluß auf den Verlauf der Erwärmungskurve an der Zehe beteiligt. Diese Beziehungen werden noch deutlicher durch die Tatsache, daß ZE1 eine mittlere Schwankungsbreite von Tag zu Tag von $\pm$ $2{,}5^{o}$ C hat, ZE2 dagegen $\pm$ $1{,}5^{o}$ C, - das sind ungefähr 40 % nivellierender Effekt des Wasserbades. Der übrige Einflußanteil am Erwärmungsgang bleibt von anderen inneren und äußeren Bedingungen abhängig (z.B. RWG).

Dies gilt für alle VP; für den Fußrücken ebenfalls, allerdings auf höherem Ausgangsniveau und gedämpfterem Verlauf. Der Fußrücken kühlt sich im Vergleich zur Zehe relativ stärker ab (vgl. Kurven 11 und 12).



Kurve 9

Abhängigkeit der Erwärmungsreaktion an der Zehe in ZE2 und ZE3 von der Ausgangstemperatur. Personenmittelwerte für jeden Tag.

	ZE2	ZE3	RE2	RE3	TAZ	RWG
ZE1						
VP 1	-0.95	-0.92	-0.88	-0.68	-0.22	0.41
VP 2	-0.98	-0.97	-0.56	-0.35	-0.59	0.68
VP 3	-0.95	-0.91	-0.55	-0.26	-0.34	0.38
RE1						
VP 1	-0.90	-0.84	-0.95	-0.77	0.0	0.38
VP 2	-0.84	-0.84	-0.83	-0.68	-0.40	0.66
VP 3	-0.79	-0.74	-0.87	-0.57	0.0	0.23
ZE2						
VP 1		0.97	0.88	0.67	0.0	-0.25
VP 2		0.98	0.53	0.28	0.63	-0.63
VP 3		0.97	0.53	0.29	0.17	-0.19
ZE3						
VP 1			0.81	0.56	0.0	-0.18
VP 2			0.56	0.31	0.63	-0.58
VP 3			0.51	0.37	0.13	-0.12
RE2						
VP 1				0.86	0.0	-0.27
VP 2				0.91	0.15	-0.35
VP 3				0.80	-0.12	0.0
RE3						
VP 1					0.0	-0.40
VP 2					0.0	-0.29
VP 3					-0.36	0.0

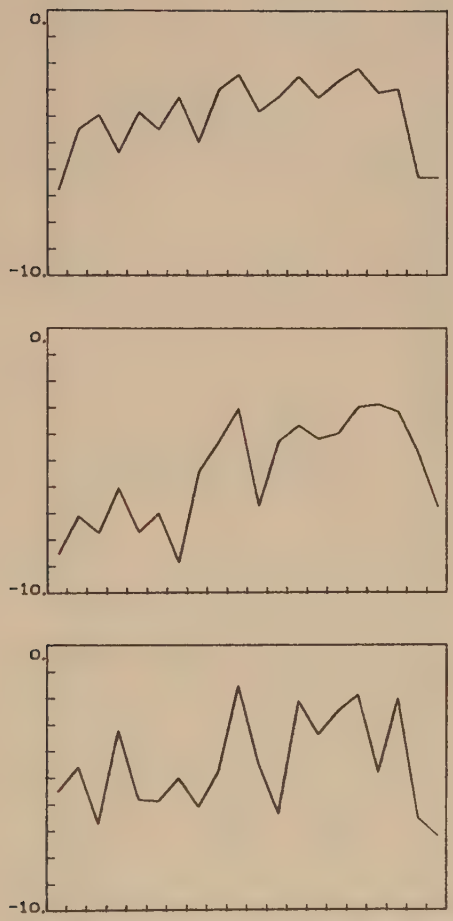
Tabelle 3

Korrelationsmatrix der Ausgangswerte und der Kenngrößen der Reaktion am Erwärmungsfuß (Erwärmungsreaktion) für alle Versuchspersonen. Komp. T, n = 17, s = 0.38, p = 0.01.
Abkürzungen: S. 14 und folgende, S.21, n = Zahl d. Freiheitsgrade.

Die parallelen Verläufe EWR an Zehe und Fußrücken gelten nicht für VP 2 und VP 3, bei denen 4 min nach Reiz in RE3 die Reaktion am Fußrücken unabhängig von der Zehe verläuft, bzw. RE3 kaum korreliert mit ZE1, ZE2, ZE3 (Tabelle 3). Dies statistische Verhältnis erklärt sich daraus, daß während der ersten 7 Tage RE3 der VP 3 ein wesentlich höheres Niveau erreicht als an späteren Tagen (Kurven 12 - 14), offensichtlich bedingt durch höhere Erwärmungsgeschwindigkeit an dieser Meßstelle gegenüber der Zehe (Kurve 15). Anders bei VP 2, hier ist an diesen Tagen die Geschwindigkeit über der Zehe erhöht gegenüber dem Rücken und verändert so die Relation Zehe - Rücken (Kurven 16, vgl. 11 mit 13, 13 mit 14). Bevor nach Erklärung gesucht wird ist zu bedenken, daß verstärktes Abtrocknen den Erwärmungsreaktionsverlauf entscheidend zu beeinflussen vermag.

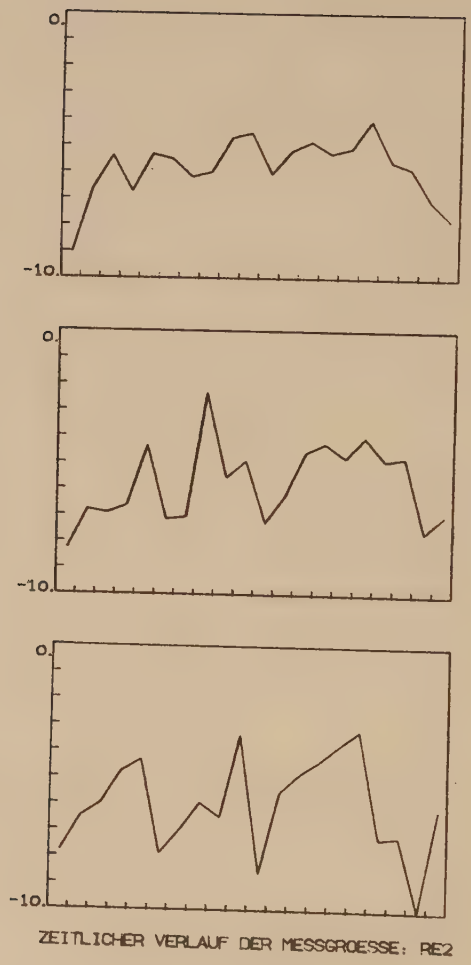
Ein nur graphisch zu erkennender Trend der Kurvenkenngrößen, der sich am 18. bis 19. Tag ausgleicht, liegt für fast alle Größen vor. Er ist an der Zehe stärker ausgeprägt, bei VP 1 und VP 2 auffälliger als bei VP 3, bei welcher er an der Zehe (ZE3) nicht vorhanden ist und am Fußrücken nicht positiv ist, entsprechend dem negativen ATT Trend, sondern negativ über die Gesamtperiode läuft (vgl. Kurven 11 mit 12, 13 mit 14 und Tabelle 3).

Es scheint als würde sich die Erwärmungsreaktion der VP 3 während der Versuchsperiode derart verändern, daß am Fußrücken trotz fallender ATT die Abstände ATT - RE2, RE3 größer (negativer) werden, was einer veränderten Reaktion auf den Wasserreiz entspricht, insofern als dieser tiefere Erwärmungskurven am Rücken induziert, wohingegen bei VP 1 und VP 2 mit niedereren ATT die Abstände ZE2 usw. geringer werden. Wir können eine Veränderung des Einflußanteils des Wasserbades auf die Reaktion annehmen, im Sinne einer Reaktionsverstärkung: Bei gleichem Reiz wird die Abkühlung am Rücken größer, an der Zehe gleichbleibend über die Versuchsperiode.



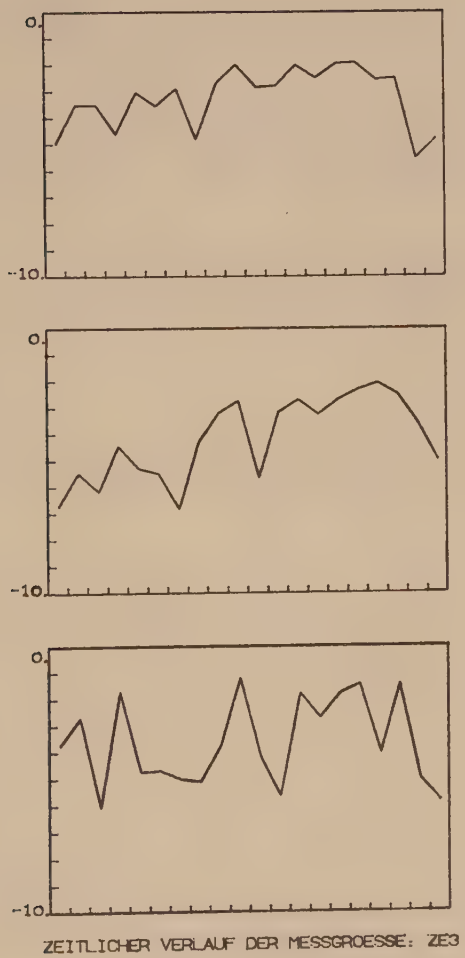
Kurve 11

Periodenverlauf der Kenngröße ZE2, das ist die Differenz der Erwärmungszehentemperatur 1 min nach Kaltreiz zur Ausgangstemperatur. Ordinate: 0^{o} C (keine Differenz) bis $-15,0^{o}$ C.



Kurve 12

Periodenverlaufskurve der Kenngröße RE2, das ist die Differenz der Temperatur des Erwärmungsfußrückens 1 min nach Kaltreiz zur Ausgangstemperatur von 0 bis -15,0° C.



Kurve 13

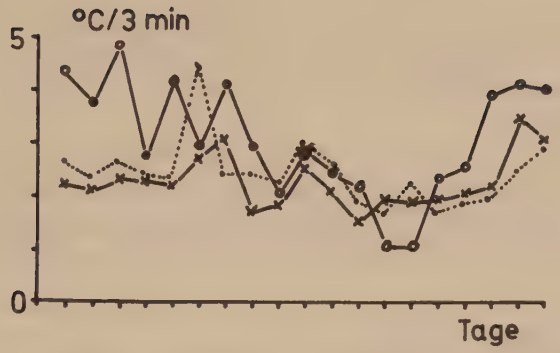
Periodenverlauf der Kenngröße ZE3, das ist die Differenz der Temperatur der Erwärmungszehe 4 min nach Kaltreiz zur Ausgangstemperatur. Ordinate in ^{o} C.

Die Korrelation der Kurvenkenngrößen im gesamten, der Reaktionsstärke also, mit RWG und RTT ergibt eine wenig klare Aussage, da dabei der Anteil von ATT am Verhältnis zu RWG nicht eliminiert ist, nicht mit partiellen Korrelationskoeffizienten errechnet wurde. Bei Betrachtung der Tabelle 3 läßt sich jedoch sagen, daß ein unmittelbarer Einfluß von RWG auf die Reaktionsstärke, wenn überhaupt, sich sehr schwach bemerkbar macht und dann nur bei VP 2.

Eine Meßzahl der Reaktionsgeschwindigkeit ist nicht ins Rechenprogramm eingegangen. Eine absolute Meßzahl der Erwärmungsgeschwindigkeit ist ZE3 minus ZE2 und RE3 minus RE2. Sie gibt die Anstiegsgeschwindigkeit der Kurve von der 2. bis 5. Minute nach dem Reiz an in ^{o} C/3 min.

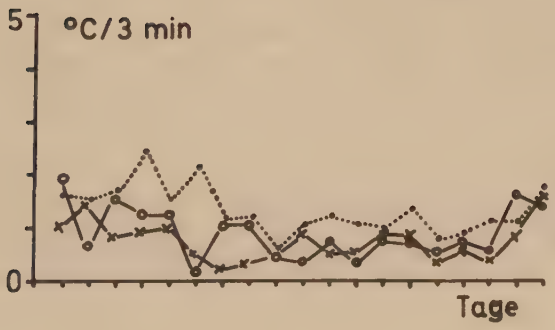
Man sieht aus den Periodenverlaufskurven 15 und 16 für 3 VP, daß die Erwärmung am Fußrücken schneller abläuft.

Die Kurven RWG gegen die Reaktionsgeschwindigkeiten aller VP ergibt nur an der Zehe eine deutliche Beziehung (Kurve 17), selbst wenn die Werte von Tag 18 und 19 unberücksichtigt bleiben, da hier die Reaktion bei Außenaufenthalt sicher wesentlich von anderen Faktoren beeinflußt wird, die den Feuchteanteil bis zur Unkenntlichkeit überlagern, besonders erhöhte Muskelaktivität. Die Tageswerte von 7 und 10 sollten ebenfalls gesondert betrachtet werden, wegen kurzfristiger RTT Erhöhungen (für Minuten) die mittags vor den Versuchen sich ereigneten. Zwar sind diese Entgleisungen nicht eingerechnet, doch wurden sie subjektiv stark empfunden und in den Tagebüchern festgehalten. Wieder zeigt sich, daß die Werte bei hohem RWG weniger streuen als bei tiefem RWG. Geringer streuen die Werte auch an den Zehen.



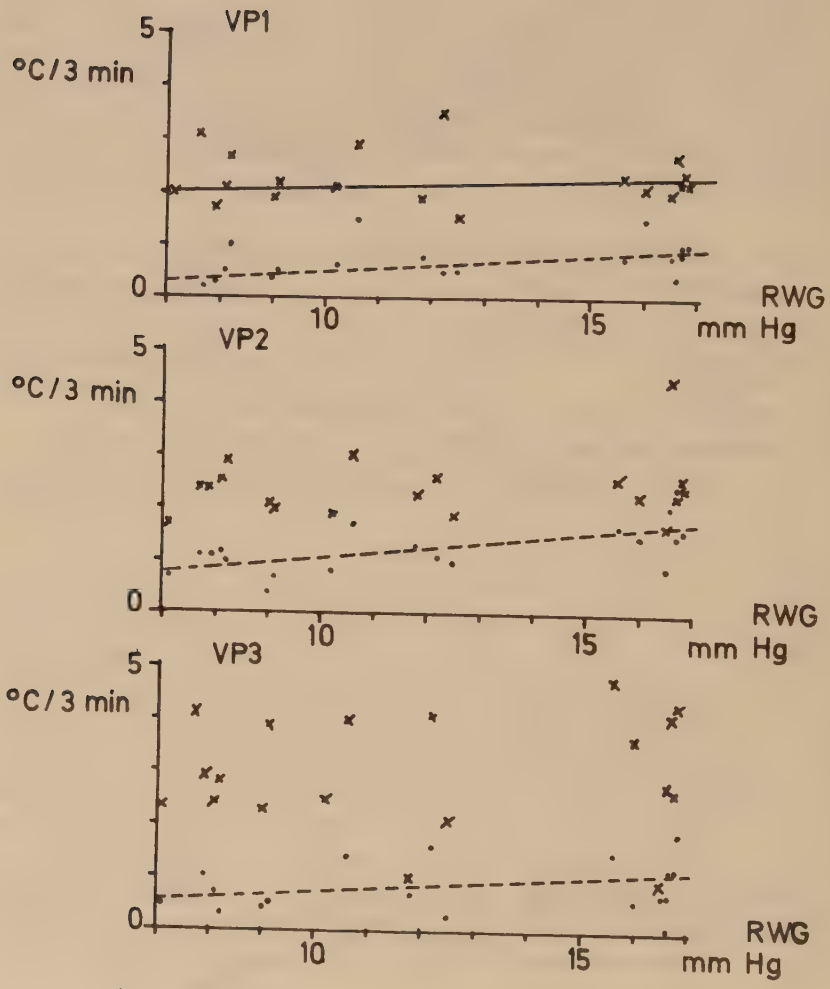
Kurve 15

Periodenverlauf der Reaktionsgeschwindigkeit der Wiedererwärmung am Fußrücken (^{o} C/3 min) für alle VP. VP 1 (x, ——), VP 2 (., ...), VP 3 (o, ——).



Kurve 16

Periodenverlauf der Reaktionsgeschwindigkeit der Wiedererwärmung an der Zehe für alle VP. Gleiche Symbole wie bei Kurve 15.



Kurve 17

Reaktionsgeschwindigkeit der Wiedererwärmung (^{o} C/3 min) am Erwärmungsrücken (x, ——) und an der Erwärmungszehe (., - -) in Abhängigkeit von der Raumfeuchte RWG. VP 1 bis VP 3, von oben nach unten.

Es läßt sich an der Zehenmeßstelle eine Reaktionsbeschleunigung um ca. 1^{o} C/3 min bei RWG Anstieg von 7 auf 17 mm Hg erkennen. Der Effekt ist bei VP 2 am größten, bei VP 3 am geringsten.

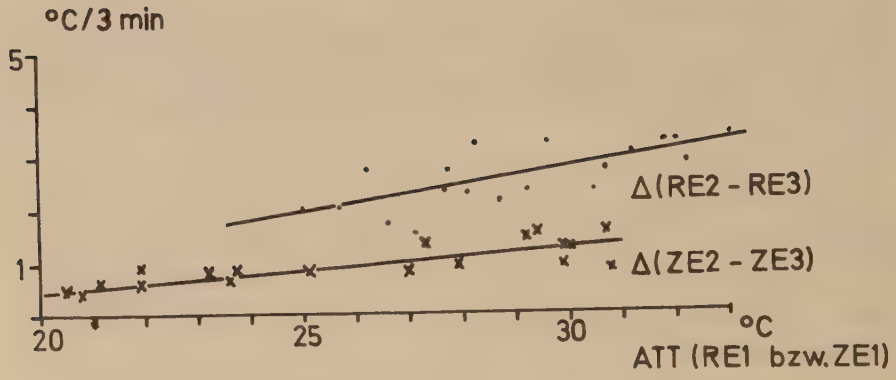
Wieder tauchen die Fragen auf:
- Wieweit ist die Reaktionsgeschwindigkeit abhängig von ATT, die ihrerseits mit RWG korreliert? Dazu Kurve 18, man sieht 1^{o} C/3 min bei ATT Erhöhung von 20 auf 30 Grad an der Zehe, am Rücken in ähnlichem Maße.

- Wieweit ist die RWG - Geschwindigkeitsrelation (Kurve 17) Ausdruck gemeinsamen Trends? Der Trendeinfluß ist sicher nicht bedeutend, da RWG über die Gesamtperiode abfällt, während die EWR Werte (siehe alle Periodenverlaufskurven) vom 17. Tag an sich allesamt ausgleichen.

Das Problem der Beziehung des 5 min nach Reizbeginn erreichten Erwärmungsniveaus zur Reaktionsgeschwindigkeit wird in Kurve 19 erfaßt. Für VP 1 und VP 2 gilt, daß schnelle Erwärmung an beiden Meßstellen zu relativ niederem Temperaturniveau 5 min führen. Bezogen auf Kurve 17 (RWG/Geschwindigkeit) bedeutet das ein niedereres Endniveau an Feuchtetagen, - zumindest qualitativ und tendenziell. VP 3 zeigt kein solches Verhalten, eher scheint die Tendenz gegensinnig zu laufen, derart, daß schnelle Erwärmung ein relativ höheres 5 min Niveau ergibt.

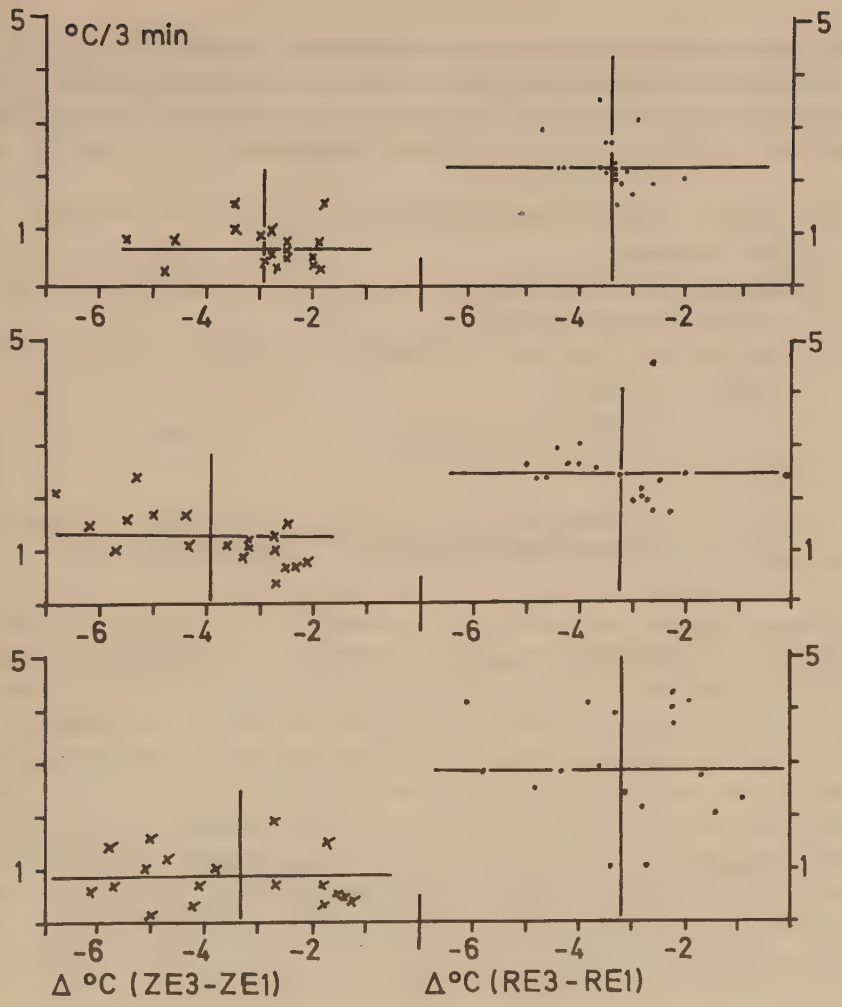
Eine Deutung bietet Dirnagl (16) (siehe Diskussionsteil). Die linken oberen Quadrate in Kurven 19 würden die schnellen "passiven" Erwärmungsreaktionen bedeuten, die rechten unteren die "vasomotorischen", wobei eine Durchblutungserhöhung geschieht.

Auf die VP bezogen hieße dies:
-VP 1 reagiert mehr vasomotorisch,
-VP 2 hat beide Möglichkeiten,
-VP 3 läßt keine Tendenz erkennen.



Kurve 18

Die Reaktionsgeschwindigkeit am Wiedererwärmungsfußrücken (Δ(RE2 - RE3)) und an der Zehe (Δ(ZE2 - ZE3)) in Abhängigkeit von Fußrückenausgangstemperatur bzw. Zehenausgangstemperatur (RE1 bzw. ZE1).



Kurve 19

Die 4 min nach Kaltreiz an Erwärmungszehe und -rücken erreichten Temperaturdifferenzen zur jeweiligen Ausgangstemperatur in Abhängigkeit von der Erwärmungsgeschwindigkeit (^{o} C/3 min) für alle VP. VP 1 bis VP 3 von oben nach unten. Der linke Teil der Abszisse zeigt die Differenz ZE3 zur Zehenausgangstemperatur (x), die rechte Abszissenskala zeigt die Differenz RE3 zur Fußrückenausgangstemperatur RE1 (.). Auf der Ordinate die Erwärmungsgeschwindigkeit.

Hier soll noch auf die mittlere Fußrückenerwärmungskurve (Nr. 2) hingewiesen werden, wo der Knick im Verlauf zwischen RE2 und RE3 die Grenze von anfänglich passivem schnellen Verlauf und anschließend vasomotorischer Reaktion andeuten könnte.

Eine genauere Klärung dieses Sachverhaltes würde voraussetzen:
- längere Ablesezeit,
- Bestimmung des Einflußanteils von ATT auf die Geschwindigkeit,
- mehr Messungen pro Person,
- Bestimmung individueller Mittelkurven (wie Kurve 2) um eventuell den "Knick" zu sehen.

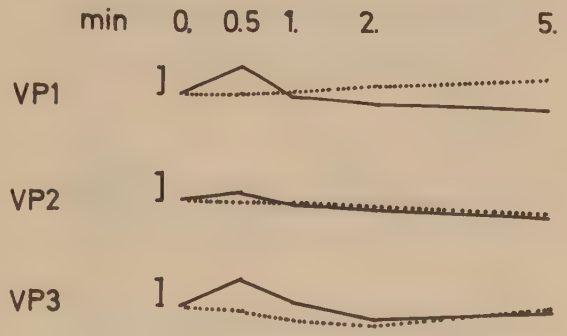
5. 1. 3. KOR = Konsensuelle Reaktion

Die konsensuelle Reaktion wird am linken Fuß bestimmt. Sie hat an Zehe und Fußrücken ein verschiedenartiges Erscheinungsbild.

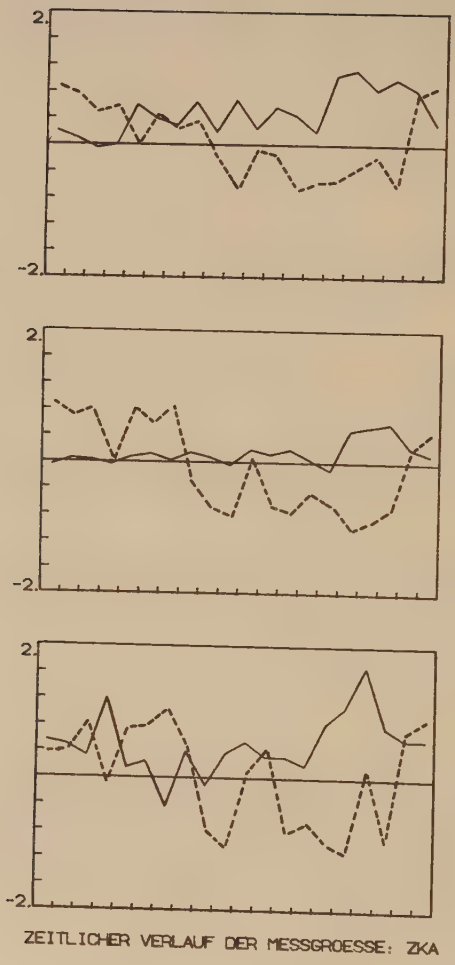
An der Zehe sieht man aus den Übersichtskurven (Nr. 20) der mittleren Reaktionsabläufe in ZKA, das ist 0,5 min nach Beginn des Kaltreizes, einen Temperaturanstieg um durchschnittlich $0{,}5^{\circ}$ C über ZK1 im Perioden- und Personenmittel. Darauf folgt eine Phase des Temperaturabfalles bis ZKB, 1 min nach Reizbeginn, auf das Ausgangsniveau bei allen VP, und weiter auf - $0{,}16^{\circ}$ C bis ZK2, 2 min nach Reizbeginn. Bei VP 1 und VP 2 in den nächsten 3 min weiter langsames Abfallen auf - $0{,}3^{\circ}$ C unter ZK1, wogegen VP 3 im Periodenmittel ein geringes Wiederansteigen auf - $0{,}13^{\circ}$ C zeigt, - doch besteht auch hier die Tendenz zur weiteren Abkühlung, da der Mittelwert durch Extremwerte der Tage 1 - 3 verschoben ist (Kurve 24, VP 3).

Die KOR an der Zehe läuft somit bei allen VP zweiphasig im Sinne einer kurzen positiven und einer langsameren und schwächeren negativen Temperaturschwankung um die Ausgangslage in der überwiegenden Zahl der Fälle (Kurve 21 und 23). Mittlere Schwingungsbreite $0{,}76^{\circ}$ C, Schwingungsdauer von ZK1 bis ZK2, das sind ca. 2 min.

Die positive Phase ZKA läuft gegensinnig zu ZK1, signifikant bei VP 1, VP 2 in Komp. T, bei VP 3 besteht die gleiche Tendenz wie aus den Kurven 21 ersichtlich ist. Also ist der Temperaturanstieg umso größer, je niederer ATT.

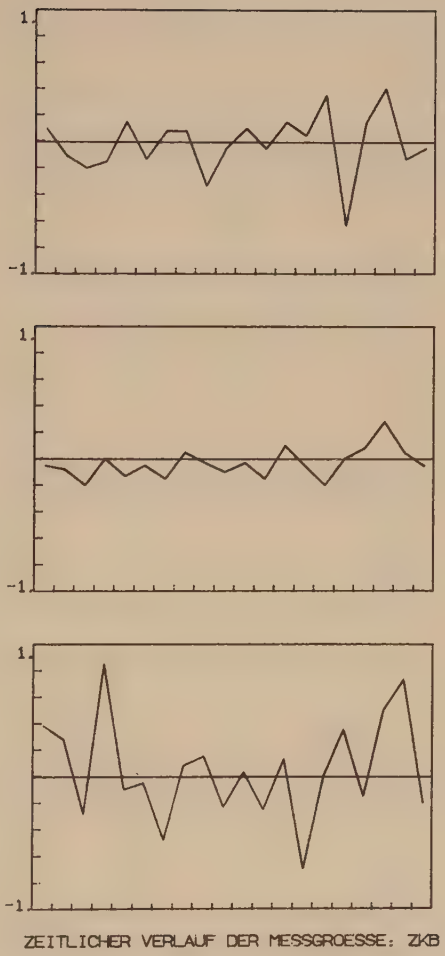


Kurve 20
Übersichtsbild des zeitlichen Ablaufes der konsensuellen Reaktion an Zehe (——) und Fußrücken (...). Periodenmittel jeder VP. Die senkrechten Meßmarken bedeuten eine positive Differenz von $0{,}5^{o}$ C zum Ausgangswert bei min 0.



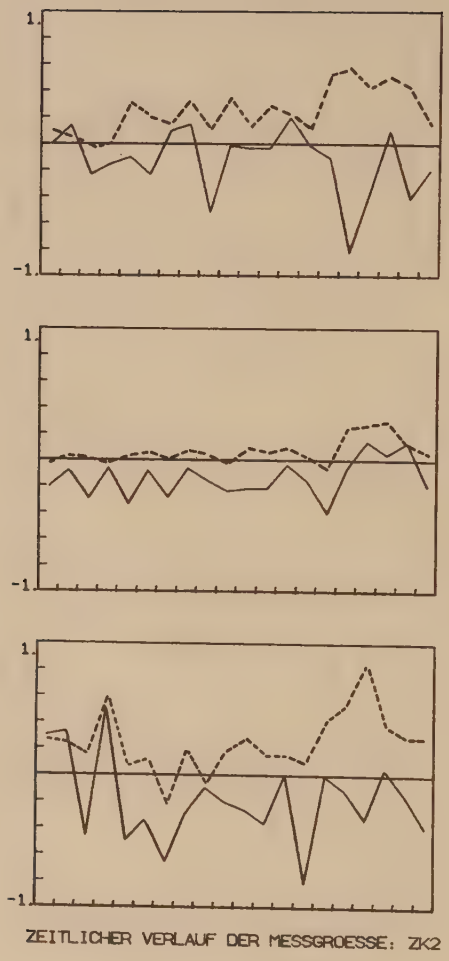
Kurve 21

Periodenverlauf der Kenngröße ZKA, das ist die positive Phase der konsensuellen Reaktion an der Zehe. Ordinatenskala von 2^{o} C Anstieg bis 2^{o} C Abfall gegen den Ausgangswert. Darüber projiziert die Kurven der Ausgangstemperaturen ZK1 (Kurve 6).



Kurve 22

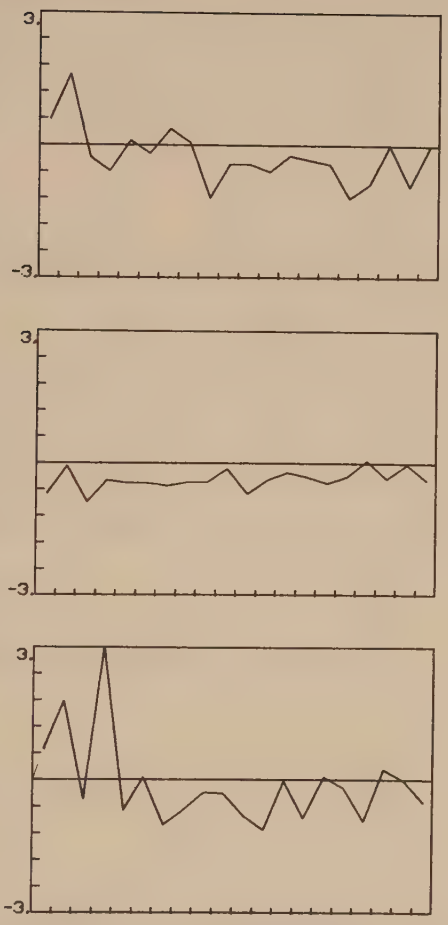
Periodenverlauf der Kenngrößenwerte ZKB an der konsensuellen Zehe. Ordinatenskala von - 1 Grad bis + 1 Grad Differenz zum Ausgangswert.



ZEITLICHER VERLAUF DER MESSGROESSE: ZK2

Kurve 23

Periodenverlauf der Kenngröße ZK2, das ist die negative Phase der konsensuellen Reaktion an der Zehe mit Abfallen der Werte unter den Ausgangswert. Darüber projiziert die Größe ZKA (im doppelten Maßstab, Kurve 21), woraus sich der Amplitudenverlauf zwischen positiver und negativer Phase ergibt.



ZEITLICHER VERLAUF DER MESSGROESSE: ZK3

Kurve 24

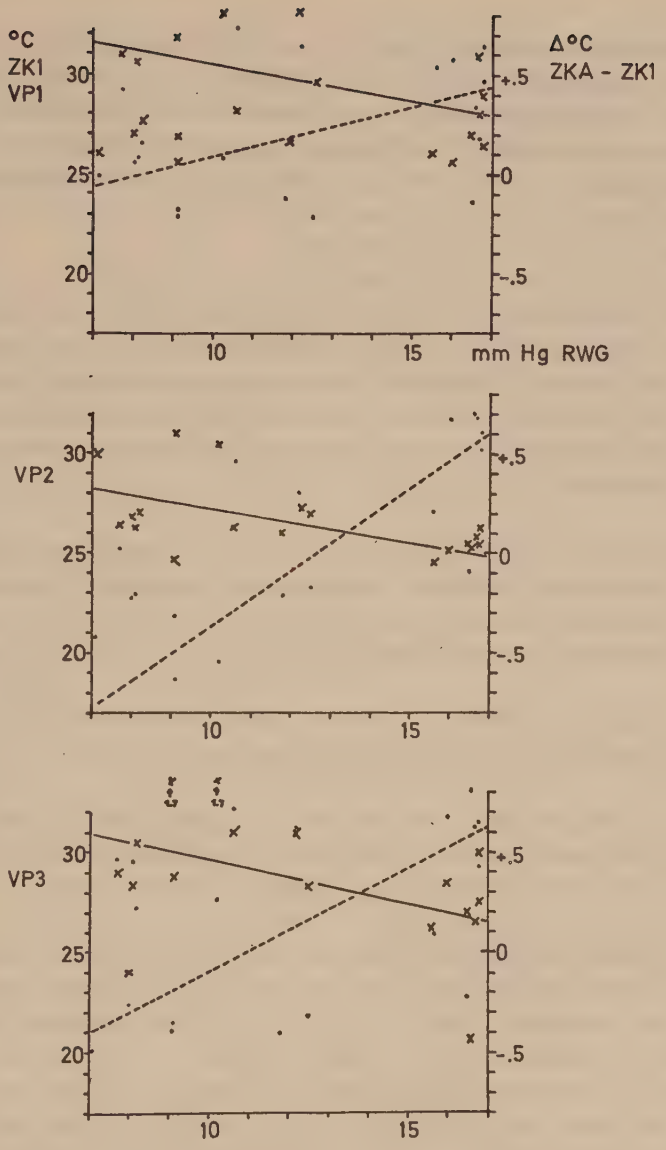
Periodenverlauf der Kenngröße ZK3, das ist die Temperaturdifferenz zur Ausgangslage 5 min nach Reizbeginn. Man sieht, daß die Werte meist unter ZK1 liegen, d.h. unterhalb der Nullinie. Ordinatenskala von -2° C bis $+2^{\circ}$ C Differenz.

	ZK1	ZKA	ZKB	ZK2	ZK3	TAZ
RWG						
VP 1	0.37	-0.52	0.0	0.27	0.52	0.54
VP 2	0.71	-0.46	-0.36	-0.21	-0.12	0.54
VP 3	0.44	-0.28	-0.18	-0.12	0.32	0.54
ZK1						
VP 1		-0.45	-0.30	-0.26	0.34	-0.30
VP 2		-0.41	-0.41	-0.30	-0.40	-0.54
VP 3		-0.26	-0.18	-0.35	-0.13	-0.33
ZKA						
VP 1			0.20	-0.26	-0.34	0.64
VP 2			0.76	0.76	0.70	0.56
VP 3			0.45	0.45	0.34	0.39
ZKB						
VP 1				0.71	0.35	0.18
VP 2				0.81	0.41	0.46
VP 3				0.83	0.70	0.0
ZK2						
VP 1					0.71	-0.27
VP 2					0.64	0.38
VP 3					0.85	-0.13
ZK3						
VP 1						-0.47
VP 2						0.39
VP 3						-0.35

Tabelle 4

Korrelationsmatrix der Klimagrößen und der Kennwerte für die konsensuelle Reaktion an der Zehe.

Komp. T, VP 1 - VP 3, n = 17, s = 0.38, p = 0.01.



Kurve 25

Beziehung der Ausgangstemperatur ZK1 (^{o} C) zur Raumfeuchte (linke Ordinatenskala), und Beziehung der positiven Phase ZKA als Anstieg über ZK1 (Δ^{o} C (ZKA - ZK1), in Zehntelgraden) zur Raumfeuchte. Beachtenswert ist außerdem die geringere Streuung der Werte im feuchten Bereich. ZKA x —— ZK1 . - -

Die Beziehung RWG/ZKA ist bei VP 1 und VP 2 signifikant, eine Entsprechung von RWG/ZK1; ZKA streut dabei weniger. (Kurve 25, Tabelle 4). Eine von ZK1 unabhängige Reaktion in ZKA scheint bei VP 3 vorzuliegen, doch ergab die Überprüfung der Originaldaten extreme ZKA-Werte am 16. und 17. Tag (1,7 und 1,8° C), gleichsinnig zu ZK1 (vgl. auch Kurve 21 mit 6) sodaß die Relationen verändert werden. Eine Ursache ist nicht festzustellen.

Da ZKA und ZK1 nicht streng gegensinnig verlaufen, kann auch das Verhältnis RWG/ZKA nicht allein von ATT bestimmt sein. In Kurve 25, VP 3 mit obiger Einschränkung, haben die Regressionsgeraden RWG/ZKA etwa die halbe Steigung wie die von RWG/ZK1. Eine Entscheidung wieweit ZKA von RWG beeinflußt ist kann auch hier wieder nicht getroffen werden.

Gleiches gilt für die Trendbeziehung von ZK1 und Kenngröße (Tabelle 4). Eine z.B. trainingsbedingte Verstärkung der positiven Phase während der Versuchsperiode ist nicht ausgeschlossen, da ZKA/TAZ signifikanter ist als ZK1/TAZ.

Eine ATT Schwelle für das Auftreten eines positiven ZKA Wertes läßt sich weder intra- noch interindividuell finden.

Die negative Phase ZK2, 2 min nach Reizbeginn (in 78 % der Fälle unter ZK1 fallend) erweist sich von ATT und RWG unabhängig; vgl. RWG/ZK1, RWG 1/ZK2, ZK1 1/ZK2 (Tabelle 4, Kurve 23).

Die Korrelation ZKA mit ZK2 bedeutet bei VP 1 eine Amplitudenvergrößerung (ZKA - ZK2) bei hohem ZKA, bei VP 2 bleibt die Amplitude während der Gesamtperiode gleich (0,3° C), VP 3 dagegen sich in den ersten 7 Tagen wie VP 2 verhält, danach wie VP 1 (Kurve 23, Projektion ZKA darauf). Daraus erklären sich die negativen Trends ZK2 bei VP 1 und VP 3, der positive bei VP 2 (ZKA und ZK2 laufen parallel in Kurve 23).

Die Amplitude aus positiver und negativer Phase und deren Periodenverlauf vermag zwar charakteristische Information über die konsensuelle Reaktion zu geben, kann aber nicht als Kenngröße einer KOR gelten, denn sie vereinigt zwei komplexe Teilreaktionen, die in verschiedener Weise voneinander, von ATT und der Umgebung abhängig sind.

Der weitere Temperaturabfall bis ZK3, 5 min nach Reizbeginn, gibt eine wenig deutliche Aussage. Er beträgt bei VP 1 0,16° C Periodenmittelwert (PMW), ist mit PMW 0,22° C bei VP 2 am ausgeprägtesten, und deutet bei VP 3 einen Anstieg gegen ZK2 an (Kurve 20), der aber offensichtlich durch den Extremwert am 3. Tag mitbedingt ist (Kurve 24), dem ein tiefer ZK1 Wert vorausgeht (Kurve 6). Ein zu starkes Bewegen während der Messung kann ursächlich beteiligt sein.

Wahrscheinlich bedeutet der ZK3 Wert einerseits passives Abkühlen des unbekleideten Fußes, andererseits beinhaltet er noch starke Zeichen einer abgelaufenen oder ablaufenden Reaktion, wie die verschiedenen Korrelationen zeigen (Tabelle 4). Entscheiden kann nur eine noch später angesetzte Messung.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die konsensuelle Reaktion an der Zehe recht einheitlich abläuft. Bei VP 2 etwas verschieden, da die Reaktion sehr schwach (niedriges ZKA mit PMW 0,16, VP 1 und VP 3 0,5° C) und langsamer (relativ hoher Wert ZKB 0,03, bei VP 1 und VP 2 0,01 und 0,03) abläuft, mit der Konsequenz, daß die Meßstelle einer weitgehend passiven Auskühlung ausgesetzt ist, was die Verläufe ZKA, ZK2 in Kurve 23 und die gleichbleibende Amplitude bestätigen. Bei allen VP gibt nur ZKA einen Hinweis auf isolierte Feuchtewirkung (Tabelle 4).

Am Fußrücken zeigt sich KOR in einem anderen Bild. Die Betrachtung der Periodenverlaufskurven (Nr. 20, 26 - 29) ergibt einen guten Überblick über den zur Zehe und von Person zu Person verschiedenen Ablauf.

In RKA erscheint bei keiner VP eine auffällige Temperaturerhöhung über RK1, bei VP 3 sinkt sie eher ab (- 0,12° C PMW).

-VP 1 zeigt in RKB (Kurve 27) häufiger ein Ansteigen (0,5 min nach Reizbeginn, PMW 0,05° C), weiteren Anstieg bis RK2 (Kurve 28) (2 min, PMW 0,17) und RK3 (Kurve 29) (5 min, PMW 0,28° C). Kein Kurvenkennwert korreliert mit RK1, eine statistische Beziehung zu RWG besteht nicht, keine Trends, (Tabelle 5).

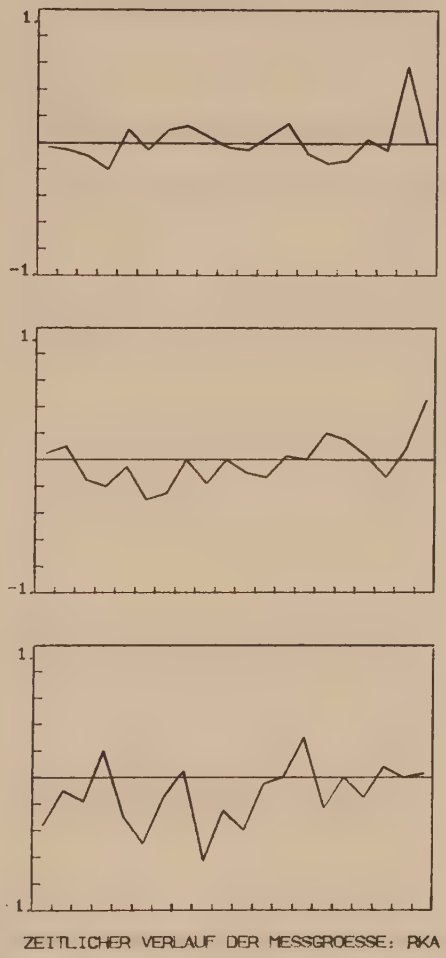
-VP 2 in RKB Abfallen gegen RK1 (PMW - 0,07) bis RK2 (PMW - 0,07) etwa konstantes Niveau, und weiter abfallend auf - 0,24 (PMW) in ZK3. Keine signifikante Beziehung zu RK1, doch besteht eine Tendenz zu schwächerem Abfallen bei tiefer ATT (RK1 1/RK2, Tab. 5). Keine Beziehung zu RWG. Positiver Trend von RK2 (TAZ/RK2), also über Periodenverlauf geringer werdendes Abfallen gegen ATT.

-VP 3: die Temperatur fällt bis RKB um - 0,07 (alles PMW), dann stark auf - 0,32 in RK2 und während der restlichen 3 min bis RK3 steigt sie wieder auf 0,34, es wird eine Differenz von 0,66° C überwunden. Beziehung zu RK1 tendenziell vorhanden, im Sinne eines geringeren Abfallens in RK2 bzw. Ansteigens in RK3 bei kühlerer Ausgangslage (Tabelle 5, RK1 1/RK2, RK1/RK3). RWG korreliert mit keiner Kenngröße signifikant. Ein nicht signifikanter Trend (TAZ/RK2, TAZ/RK3) kann Ausdruck einer Verkleinerung der Amplitude RK3 - RK2 im Periodenverlauf sein, ist jedoch wahrscheinlich Ausdruck der schwachen Kenngrößen/ATT Korrelation.

Zusammenfassende Übersicht über das Personenverhalten am Fußrücken: Für VP 1 ergibt sich eine ATT und RWG unabhängige Reaktion im Sinne einer sofort einsetzenden Temperaturerhöhung des konsensuellen Fußrückens. Als typischer Wert ist RK3 anzusehen.

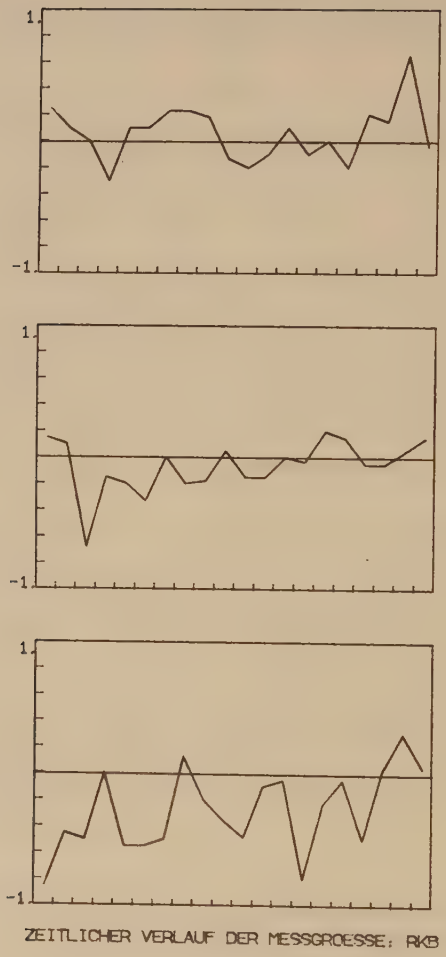
VP 2 zeigt eine sehr geringe Reaktion, erkennbar am relativ konstanten Niveau von RKB bis RK2, wobei die zusätzliche Erwärmung gerade die normale Abkühlung des unbekleideten, unbewegten Fußes ausgleicht. Typischer Wert ist RK2, mit der Tendenz zu geringerem

Abfallen bei kühler Ausgangslage. /r/ TAZ/RK2 höher signifikant als TAZ/RK1 kann Trainings- oder Kureffekt bedeuten, RK2 (Kurve 28) wird höher, d.h. die Reaktion wird in der Versuchsperiode stärker.



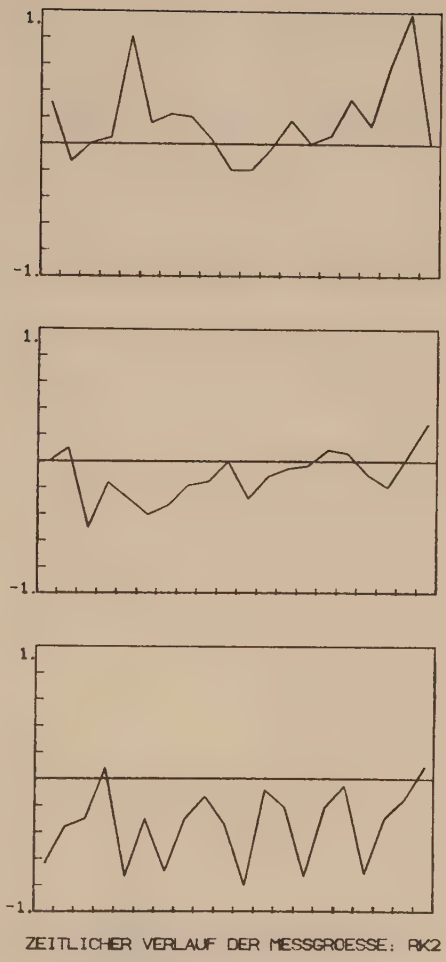
Kurve 26

Periodenverlauf der Kenngröße RKA, das ist die Temperaturdifferenz des Fußrückens zum Ausgangswert 0.5 min nach Reizbeginn. Ordinatenskala von - 1^{o} C bis + 1^{o} C.



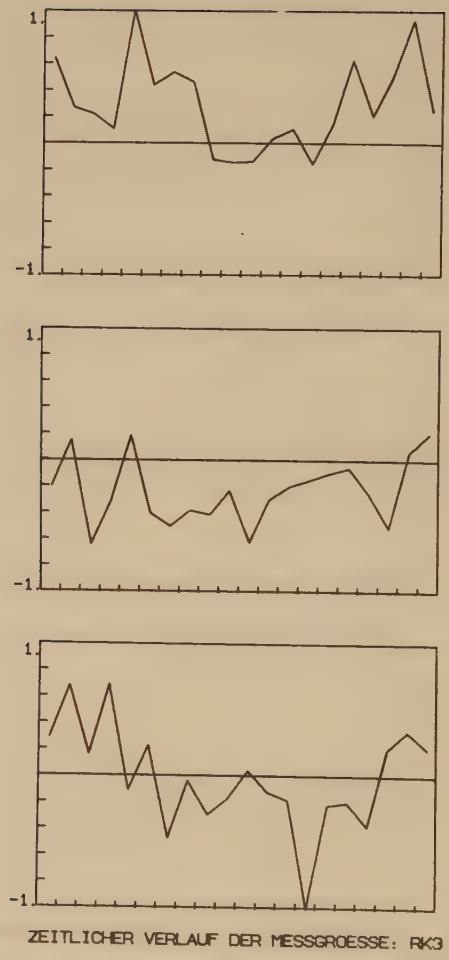
Kurve 27

Periodenverlauf der Kenngröße RKB, das ist die Temperaturdifferenz zum Ausgangswert bei Reizende.



Kurve 28

Periodenverlauf der Temperaturdifferenz RK2 zum Ausgangswert. Auffällig ist der Temperaturabfall bei VP 3.



Kurve 29

Periodenverlauf der Kenngröße RK3, der Differenz von Fußrückentemperatur 5 min nach Reizbeginn zur Ausgangstemperatur.

	RK1	RKA	RKB	RK2	RK3	TAZ
RWG						
VP 1	0.21	0.0	0.0	0.0	0.22	-0.54
VP 2	0.60	-0.25	-0.25	-0.30	0.16	-0.54
VP 3	0.35	0.0	-0.52	-0.27	0.12	-0.54
RK1						
VP 1		0.16	0.10	0.0	0.0	0.15
VP 2		-0.12	-0.32	-0.32	0.14	-0.42
VP 3		-0.17	-0.28	-0.26	0.42	-0.31
RKA						
VP 1			0.84	0.63	0.49	0.28
VP 2			0.65	0.86	0.72	0.57
VP 3			0.31	0.19	0.0	0.30
RKB						
VP 1				0.64	0.55	0.20
VP 2				0.85	0.60	0.58
VP 3				0.74	0.43	0.42
RK2						
VP 1					0.87	0.28
VP 2					0.74	0.58
VP 3					0.49	0.17
RK3						
VP 1						0.0
VP 2						0.25
VP 3						-0.28

Tabelle 5

Korrelationsmatrix der Raumfeuchte und der Kenngrößen der konsensuellen Reaktion am Fußrücken.

Komp. T VP 1 - VP 3, $n = 17$, $s = 0.38$, $p = 0.01$.

Reaktionsmäßig verhalten sich VP 1 und VP 2 ähnlich, wenn auch unterschiedlich stark.

VP 3 schließlich hat eine starke Temperaturabnahme, offensichtlich im Sinne einer Vasokonstriktion, nach 20 - 40 sec beginnend, mit Maximum bei 2 min nach Reizbeginn und anschließender reaktiver Erwärmung bis RK3. Typische Größen sind RK2 und RK3. Wie an der Zehe ist hier der Temperaturabfall vom Ausgangswert unabhängig, der Anstieg (RK3) - obwohl nach dem Abfallen - dagegen abhängig von ATT im gegenläufigen Sinne. Die Trendbeziehungen weisen eher auf eine Reaktionsabschwächung hin (TAZ/RK2); RK2 fällt zunehmend ab, RK3 steigt weniger an - entweder nimmt die Vasokonstriktion zu, oder die Erwärmung ab, ersteres ist wahrscheinlicher.

Am Fußrücken sind die individuellen Merkmale der konsensuellen Reaktion besser zu erkennen als an der Zehe.

5. 1. 4. Überblick über das Personenverhalten

Schließlich sei das Reaktions- und Periodenverhalten der einzelnen Versuchspersonen herausgestellt.

Versuchsperson eins:
Geschwindigkeit der Erwärmungsreaktion und deren Kurvenverläufe sind partiell von der Ausgangslage abhängig. Schnellere Erwärmung bedingt häufig ein relativ niederes Endtemperaturniveau 4 min nach Reiz. Ein getrennter Einfluß der Raumfeuchte ist angedeutet: mit dieser steigt die Geschwindigkeit besonders an der Zehe, und erhöht sich das Endniveau eher am Fußrücken. Wie der Ausgangswerttrend erwarten läßt, hat besonders die Zehe den 17 Tage-Trend zu höherem Endniveau, während die Reaktionsgeschwindigkeit an beiden Meßstellen leicht fällt im Periodenverlauf, am Rücken auffälliger. Rücken und Zehe verhalten sich signifikant gleichsinnig.
Die konsensuelle Reaktion geht an der Zehe zweiphasig mit einer kurzen Erwärmung einher, die mit einem anschließenden Temperaturabfall (nicht signifikant) gleichsinnig verbunden ist: Stärkerer Anstieg und tieferer Abfall (vgl. Kurven 21 mit 23). Dieses Verhalten bleibt im Periodenverlauf bestehen. Nach der zweiten Phase

fällt die Temperatur geringfügig ab, - passive Auskühlung. Feuchtebeeinflußt ist vermutlich die erste Phase. Über dem Fußrücken sieht man keinen Phasenablauf, sondern sofort ein allmähliches Ansteigen der Werte bis über die Ausgangslage, ohne Bezug zu dieser, ohne Feuchtebezug. Es liegt eine reaktive Hyperämie vor, die 5 min nach Reizbeginn sehr deutlich ist. Diese Reaktion hat keinen Trend.

Versuchsperson zwei:
Geschwindigkeit und Endniveau der Erwärmung verhalten sich wie bei VP 1. Die Geschwindigkeit an der Zehe ist in der ersten Woche höher als bei anderen VP, was im Einklang mit der Tatsache der niedersten Ausgangslagen an der Zehe eine "passive" Erwärmung und später, trainingsbedingt, eher Tendenz zu mehr vasomotorischem Verhalten andeuten könnte.

Eine konsensuelle Reaktion ist sehr schwach und läuft träge. An der Zehe bleibt die Reaktionsamplitude ganz vom Ansteigen der ersten Phase abhängig, was gegen aktiven Durchblutungsabfall in der zweiten Phase spricht. Die Fußrückenwerte geben Hinweise auf eine geringe Durchblutungserhöhung (Kurve 28), die sich über die Gesamtperiode zu verstärken scheint - trainingsbedingt.

Versuchsperson drei:
Das Periodenverhalten der Erwärmungsreaktion ermöglicht es eine sich verändernde Ansprechbarkeit auf den Kaltreiz anzunehmen, im Sinne einer verstärkten Vasokonstriktion während des Reizes oder sich verändernde Vasomotorik nach Reiz. Dafür spricht auch die in den ersten 7 Tagen höhere Erwärmungsgeschwindigkeit am Fußrücken mit hohem Niveau und von diesem Tag ab geringer werdendes Endniveau (Kurve 14). Eine regelmäßige Beziehung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Endniveau ist (deshalb?) nicht zu sehen. Die Korrelation RWG und Geschwindigkeit ist sehr schwach.

Auch die konsensuelle Reaktion an der Zehe weist auf Veränderung nach 7 Tagen hin, derart, daß dann eine von Phase eins abhängige Temperatur- bzw. Durchblutungsabnahme auftritt wie bei VP 1 (Kurve 21 auf Kurve 23 projiziert). Am Fußrücken erfolgt eine Durchblutungsabnahme mit Minimaltemperatur nach 2 min und anschließend eine

reaktive Hyperämie über ATT und von dieser abhängig. Im Periodenverlauf geschieht eine Abschwächung dieser Erwärmung bis zur 5. Minute nach Reiz (Kurve 29). Feuchterelationen bleiben unklar.

5. 2. Sublingualtemperatur

5. 2. 1. Tagesprofil

Die Meßgrößen der VP haben einen gleichsinnigen systematischen Tagesrhythmus, der sich allerdings für jede Versuchsperson auf verschiedenem Niveau bewegen kann. Statistisch aus den Quadratsummen der Abweichungskomponenten:

	Komp. M (T)	Komp. T	F-Wert	
VP 1	7653	19716	2,59	p = 0.05
VP 2	9808	55366	5,65	s = 2.14
				f_{n_1/n_2} = 94/18

Das Tagesprofil korreliert im Personenmittel positiv mit dem Tagesgang der Raumtemperatur. Da RTT einen zur Körpertemperatur etwa parallelen Tagesrhythmus hat, ist daraus kein kausaler Schluß zu ziehen. Ebenso verhält es sich mit der negativen Korrelation zur Raumfeuchte, da diese gegensinnig zu TTL bis 19 Uhr leicht abfiel. Bei VP 2 (vgl. M (T) RWG/TTL, Tab. 6) ist das Nichtvorhandensein einer Beziehung wahrscheinlich Ausdruck einer großen tägliche Streubreite, besonders bedingt durch den starken Mittagsgipfel des Temperaturverlaufes (s.u.).

Die drei mittleren Tagesgänge sind zweigipfelig, angedeutet bei VP 1 und VP 3, ausgeprägt bei VP 2.

Ferner bestehen Differenzen der Tagesamplitude und im Phasenverlau (Periodenmittel): VP 2 hat die tiefsten Vormittags- und höchsten Abendwerte, erreicht diese erst etwa 1 1/2 - 2 Stunden nach VP 1 und VP 3. Um 14 Uhr schneiden sich die Kurven derart, daß alle VP steigende, fast gleiche Temperaturen haben. Der Wert um diese Zeit könnte für spezifische Fragen des Kollektivverhaltens im Periodenmittel geeignet sein.

	TTL
RWG	
VP 1	-0.28
VP 2	0.0
VP 3	-0.31
RTT	
VP 1	0.19
VP 2	0.19
VP 3	0.20

Komp. M (T) VP 1 - VP 3, n = 93, s = 0.16, p = 0.1

	TTL	RTT
RWG		
	-0.14	0.16
RTT		
	0.19	

Komp. M (TP), n = 283, s = 0.11, p = 0.1

	RTT	TTL	TAZ
RWG			
VP 1	0.64	-0.25	-0.52
VP 2		0.19	-0.52
VP 3		0.11	-0.52
RTT			
VP 1		-0.0	-0.1
VP 2		0.42	-0.1
VP 3		0.25	-0.1
TTL			
VP 1			0.59
VP 2			0.48
VP 3			0.55

Komp. T VP 1 - VP 3, n = 17, s = 0.39, p = 0.1

	RTT	TTL	TAZ
RWG			
	0.64	0.02	
RTT			
		0.23	
TTL			
			0.53

Komp. T (P), n = 52, s = 0.23, p = 0.1

Tabelle 6

Korrelationsmatrizen zur Meßgröße Sublingualtemperatur.

5. 2. 2. Periodenverlauf

Die Varianz der Tagesmittel ist signifikant größer als die der Personenmittel, was einen gleichgängigen Verlauf der Lingualtemperaturtageswerte der VP über die 19 Tage bedeutet:

Komp. T (P)	Komp. P	p	n	s	F-Wert
245.12	6.84	0.05	53/2	19.5	35,9

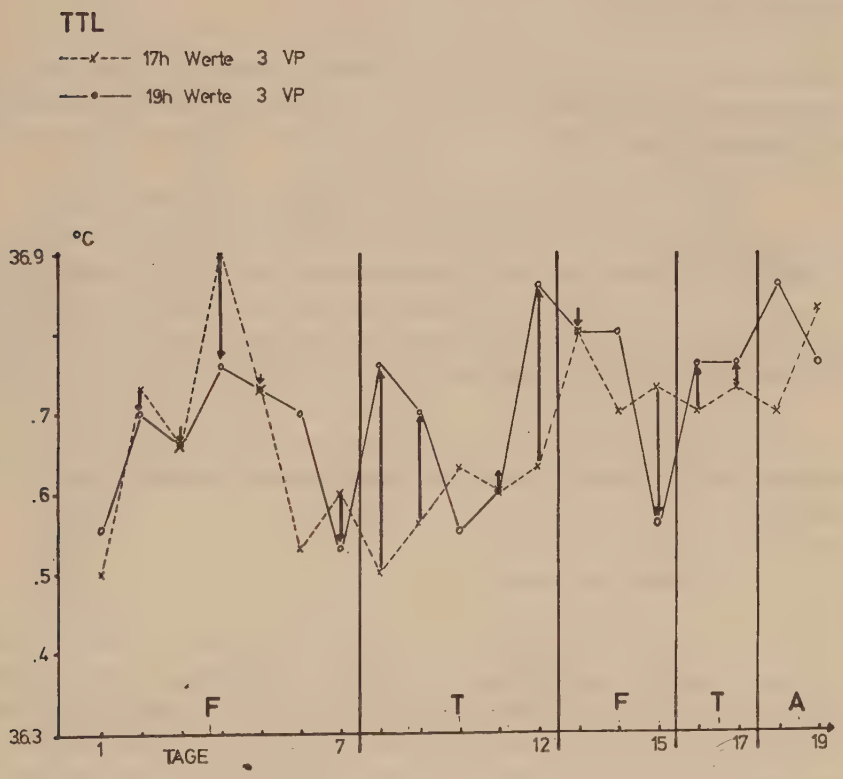
Eine signifikante Korrelation zu RTT im Personenmittel besteht nicht, die Tendenz ist positiv. Allein VP 2 hat eine positive Abhängigkeit TTL/RTT (Komp. T). Dies deutet auf eine unterschiedliche Stellung der Lingualtemperatur dieser VP im Wärmeprofil des Körpers hin. Die Schwankung von TTL beträgt im 19-Tagesmittel - 0,15° C, die von RTT - 2,0° C.

Eine Abhängigkeit zu RWG ist aus unseren statistischen Ergebnissen ebenfalls nicht zu ersehen. Beachtenswert jedoch ist das Verhalten von VP 1 mit einmal völliger Unabhängigkeit von RTT, zum andern ein tendenziell gegensinniger Verlauf RWG zu TTL, niedere Tagestemperaturwerte bei höherer Feuchte (Tabelle 6).

Die Rechenergebnisse geben über tagesrhythmische Änderungen im Periodenverlauf keine Auskunft. Eine Phasenverschiebung der Tagesmaxima (Personenmittel) deutet Kurve 31 an. Wir sehen an Feuchtetagen, daß häufiger um 17 Uhr bereits der Tageshöchstwert erreicht ist, an Trockentagen erst um 19 Uhr. Die Tage 12 und 14 liegen im RWG Wert zwischen "feucht" und "trocken", und damit vielleicht unter einem Grenzwert, der einen Feuchteeinfluß überhaupt erst sichtbar macht.

Auch auf eine Amplitudenveränderung im Periodenverlauf bestehen Hinweise. Trägt man die Differenz aus den tiefsten Vormittag- und den höchsten Abendwerten (9 Uhr oder 11 Uhr, bzw. 17 Uhr oder 19 Uhr) gegen RWG auf (Kurve 32), läßt sich eine Tendenz zu größeren Amplituden (ca. 0,1° C) bei höherem RWG erkennen. Dabei sind die Tage 7 und 15 nach Feuchtesprüngen und besonders hohen Tagesschwankungen zu berücksichtigen. Um solche wahrscheinliche Desynchronisationsvorgänge leichter faßbar zu machen, sollten Klima-

sprünge nur zu gleichen Tageszeiten durchgeführt werden, am besten nachts, wegen der längeren Anpassungszeit. Eine Ursache für den Extremwert 8. Tag ist nicht eruierbar.



Kurve 31
Periodenverlauf der 17 h (x - -) und 19 h (o ——) Werte der Sublingualtemperatur über Personen gemittelt. Die Pfeile zeigen in Richtung der 19 h Werte.

Da das Verhältnis Amplitudengröße/Raumtemperatur (Kurve 33) ebenfalls gleichsinnig ist, bzw. erscheint, ist hier mit graphischen Mitteln eine Entscheidung über RWG oder RTT Einflußanteil nicht möglich. Die mittlere Tagestemperatur schwankt im Periodenverlauf immerhin um - 1,5° C.

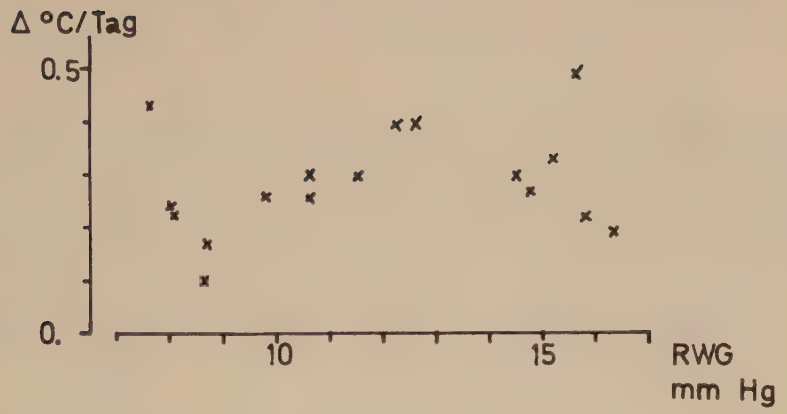
Einen weiteren Hinweis auf Amplitudenschwankungen bringt Kurve 34, hier liegen an Feuchtetagen die 9 h Mittelwerte häufig tiefer als an trockenen Tagen. Tag 8 (s.o.) zeigt sich hier mit besonders niederen Frühwerten.

Eine graphische Aufgliederung nach Personenverhalten bezüglich Phasenverschiebung und Amplitudenveränderung ergibt unübersichtliche Bilder mit stark streuenden Werten. Es soll hier darauf verzichtet werden. Bei VP 1 z.B. sind die Zeichen für eine Phasenverschiebung am wenigsten ausgeprägt.

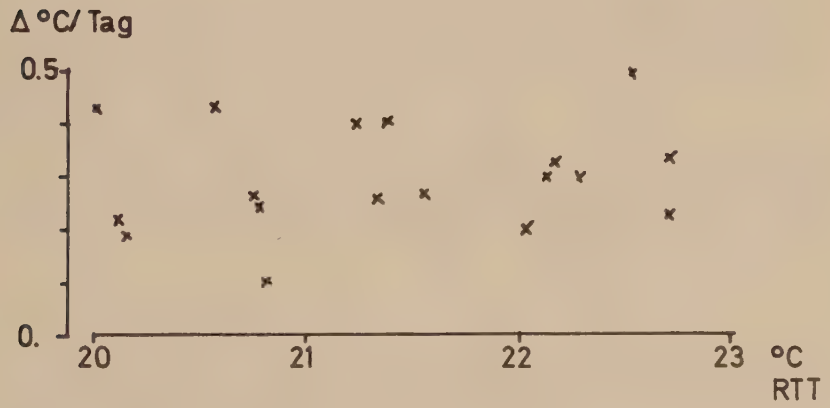
Die interessante Frage, ob Amplitudenschwankungen durch erniedrigt Morgen- oder erhöhte Abendwerte, oder beides bedingt sind, ist an Hand unserer Daten nicht zu beantworten.

5. 2. 3. Trendbetrachtung

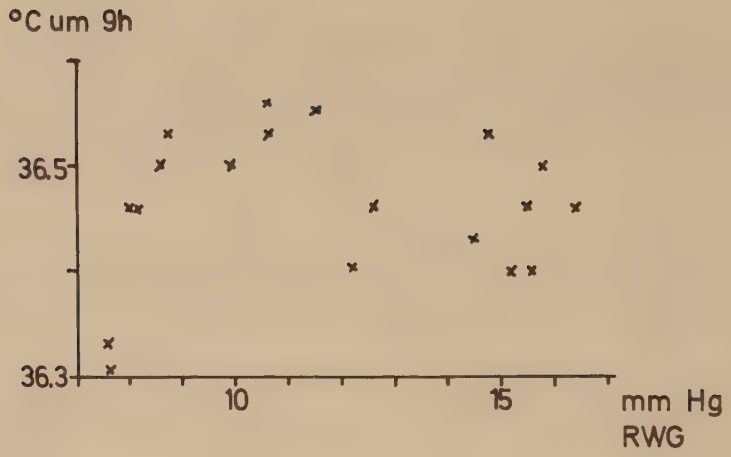
Die Lingualtemperatur aller VP hat einen positiven Trend. Sie stei im Tages- und Personenmittel um 0,15° C in 19 Tagen. Am 18. und 19 Tag erfolgt keine Rückbewegung zum Ausgangswert. Doch sieht man be VP 1 und VP 3 eine geringe Abwärtsbewegung während der beiden letz ten Tage um 0,05 Grad (Tagesmittel), wogegen dies bei VP 2 ausbleibt. (Tabelle 6, Kurve 35)
RTT hat keinen Trend, RWG einen sig. negativen; wegen der fehlenden RWG/TTL Korrelation ist dies ohne Bezug zum TTL Trend.



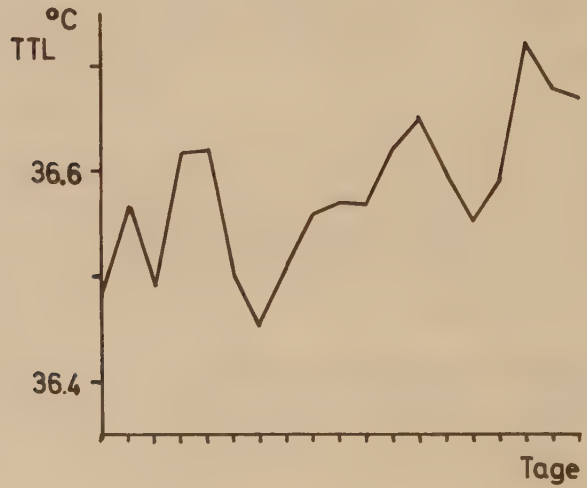
Kurve 32
Personenmittel der Tagesamplitude der Lingualtemperatur in Bezug zur Raumfeuchte RWG.



Kurve 33
Personenmittel der Tagesamplitude der Lingualtemperatur in Bezug zur Raumtemperatur RTT.



Kurve 34
Personenmittel der 9 h Werte der Lingualtemperatur in Bezug zur Raumfeuchte RWG.



Kurve 35
Periodenverlauf (Trend!) der Personen- und Tagesmittel der Lingualtemperatur.

5. 3. Rektaltemperatur TTR (Abkürzungen s. S. 14, S. 15 ff)

5. 3. 1. Tagesablauf

Aus den Ergebnissen des hierarchischen Systems der Varianzanalyse läßt sich eine gemeinsame regelmäßige Anordnung der Tagesgänge der VP nicht ableiten. Eine signifikant regelmäßige Anordnung der Tageswerte liegt nur bei VP 2 vor. Über das teilhierarchische oder Wechselwirkungssystem der Varianzanalyse ergibt sich dagegen ein signifikant gemeinsamer Tagesrhythmus:

Komp. M (T)	: Komp. PM (T)	= F-Wert;	f = 18/109, s = 1,71
625	: 19	= 3,32	p = 0.05

Das ist rechnerisch erklärt durch die größere Zahl von Freiheitsgraden in diesem System.

Für die Auswertung können wir einen regelmäßigen Tagesgang mit niederen Morgen- und hohen Abendwerten annehmen.

Für die Korrelation der Tageswerte mit dem Tagesgang der Klimafaktoren gilt das für TTL Gesagte: Der Basaltemperaturrhythmus läuft mit RTT und gegen RWG, entsprechend mittlerem abendlichen Temperaturanstieg und Feuchteabfall.

VP 2 hat die höchsten (36,8° C) mittleren Kerntemperaturen und die geringsten Tagesamplitudenschwankungen, VP 3 die tiefsten Temperaturen (36,6° C) und die stärksten Amplitudenschwankungen pro Tag.

5. 3. 2. Periodenverlauf

In Temperaturniveau, Tagesverlauf (Amplitude) und Meßperiodenverlauf unterscheiden sich die Versuchspersonen erheblich. Diese interindividuelle Streuung ist sicher großteils konstitutionsbedingt. Jedoch ist die große Fehlermöglichkeit dieser Methode zu bedenken. Abgesehen von der beschränkten Meßgenauigkeit gibt es zahlreiche "subjektive" Fehlermöglichkeiten. Die Anwendung herkömmlicher Fieberthermometer wird als unangenehm und umständlich empfunden,

unproblematischer sind flexible Rektalfühler. Ungenauigkeiten ergeben sich weiters aus unterschiedlicher Meßdauer und Meßtiefe. Erhitzung nach anstrengender Abendgymnastik - besonders nach dem 4. und 5. Tag.

Aussagen über Phasenverschiebungen sind bei zwei Messungen pro Tag nicht möglich. Amplitudenveränderungen haben bei keiner VP eine graphisch erkennbare regelmäßige Beziehung zum Periodenverlauf oder Raumklimagrößen.

Allein VP 1 reagiert signifikant gegensinnig auf Raumtemperaturänderungen (Tabelle 7). Die Korrelation zur Feuchte bei dieser VP ist nach Trendbereinigung (/r/ = - 0.25) nicht mehr signifikant, tendenziell sinkt aber mit RWG auch die mittlere Rektaltemperatur (Kurve 36), wobei Früh- und Abendwerte wohl gleichermaßen beteiligt sind (Kurve 37). Diese VP reagiert offensichtlich am empfindlichsten mit der Kerntemperatur im Sinne eines Abfallens auf RTT und RWG Erhöhungen. RTT bewegt sich von Tag 1 - 17 zwischen 20,8° und 22,7° C, die Kerntemperatur variiert dabei nur um Zehntelgrade (Kurve 36).

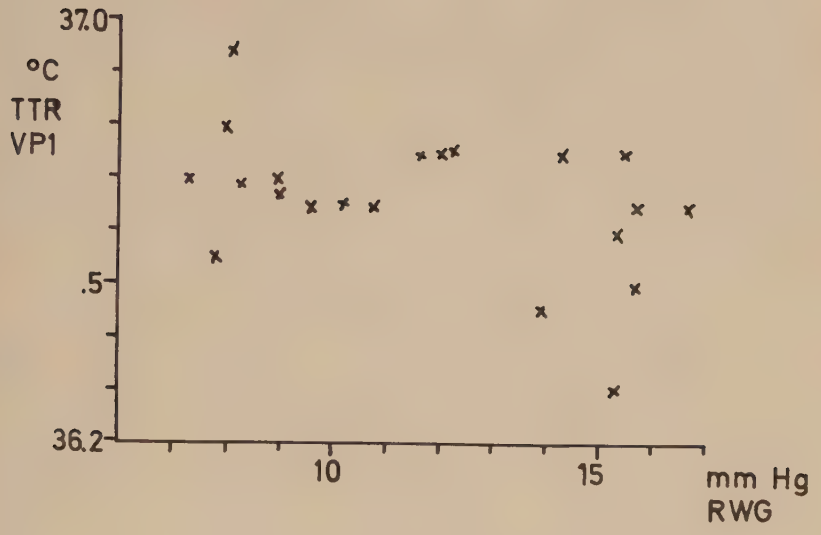
TTR von VP 2 steigt eher mit RTT, bleibt gegen Feuchte indifferent

VP 3 schließlich ist mit ihrer Rektaltemperatur gegen alle Klimaänderungen indifferent, vielleicht tendenziell mehr auf Feuchte reagibler, ähnlich VP 1 (Tabelle 7).

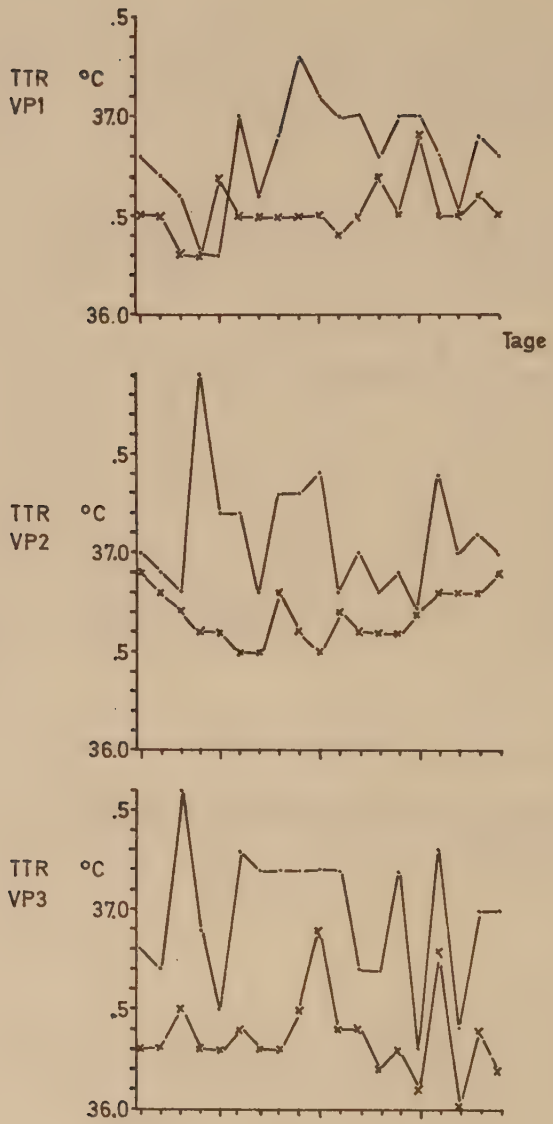
5. 3. 3. Trendbetrachtung

Bei VP 1 steigt die Kerntemperatur signifikant im Periodenverlauf, bis Tag 16 um 0,10 - 0,15° C. Kurve 37 deutet eine Rückbewegung an den Tagen 17 - 19 an. Früh- und Abendwerte sind gleich beteiligt, erstere etwas auffälliger.

Für VP 2 und VP 3 besteht kein statistisch gesicherter Trend. Die Kurvenverläufe sind vieldeutig. Auch hier die Frühwerte auffälliger, mit leicht abnehmender Tendenz (Kurve 37).



Kurve 36
Tagesmittelwerte der Raktaltemperatur von VP 1 gegen die Raumfeuchte aufgetragen.



Kurve 37

Periodenverlauf der Morgenwerte (x ——) und Abendwerte (. ——) der Rektaltemperatur aller VP.

	RTT	TTR
RWG		
VP 1	0.35	-0.14
VP 2		-0.36
VP 3		-0.26
RTT		
VP 1		0.35
VP 2		0.26
VP 3		0.39

Komp. M (T) VP 1 - VP 3,
n = 17, s = 0.39, p = 0.1

	RTT	TTR
RWG		
	0.35	-0.26
RTT		
		0.33

Komp. M (PT), n = 55,
s = 0.22, p = 0.1

	RTT	TTR	TAZ
RWG			
VP 1	0.68	-0.45	-0.51
VP 2		-0.0	
VP 3		-0.21	
RTT			
VP 1		-0.52	-0.17
VP 2		0.24	
VP 3		-0.0	
TTR			
VP 1			0.40
VP 2			-0.0
VP 3			-0.15

Komp. T VP 1 - VP 3, n = 17,
s = 0.39, p = 0.1

	RTT	TTR	TAZ
RWG			
	0.68	-0.19	0.51
RTT			
		-0.50	0.17
TTR			
			-0.0

Komp. T (P), n = 52, s = 0.23,
p = 0.1

Tabelle 7
Korrelationsmatrizen zu den Rektaltemperaturwerten.

6. Diskussion

6. 1. Akrentemperatur

Wir fanden eine Erhöhung der akralen Fußtemperaturen bei interdiurnen Veränderungen der Raumfeuchte von 7 bis 17 mm Hg und der Raumtemperatur von 20,5 bis 22,5° C, und zwar am ausgeprägtesten bei VP 2 an der Großzehe bis 10° C und am mittleren Fußrücken 5° C

Diese Beziehung ist in Kurve 7 als direkt proportional aufgetragen läuft in Wirklichkeit sehr wahrscheinlich auf einer gekrümmten Kurve (2), doch sind für die genaue Verlaufsbestimmung weder die Anzahl der Messungen noch die Variationsbreite der Raumklimagrößen ausreichend, insofern als eben Dampfdruckwerte zwischen 9 und 15 mm Hg fehlen.

Die starke Hauttemperaturerhöhung entspricht sicher einer Durchblutungszunahme, da bei passiver Erhöhung die Hauttemperatur nicht mehr als die Raumtemperatur steigen könnte.

Bei unseren Raumtemperaturwerten ist die Akrendurchblutung gering, eine geringe Durchblutungserhöhung von z.B. 4 auf 10 ml/100 ml min entspricht einem Temperaturanstieg von 10° C, wie Aschoff an der Hand zeigen konnte. Für den Fuß sind gleiche Relationen anzunehmen Ursächlich wirkt die Umleitung des venösen Rückstromes aus der Tie in oberflächliche Venolen. Da an Finger und Zehen auf Grund der spezifischen Gefäßnetzanatomie eine wesentlich breitere Durchblutungsvariation (z.B. 1 : 600 Finger, 1 : 30 Hand (2) möglich ist, wird der fast doppelt starke Temperaturanstieg über der Zehe verständlich; bei Berücksichtigung der Oberflächen-Volumen Regel muß eine gegenüber dem Fußrücken etwa vierfach stärkere Durchblutung vorliegen.

Die Hauttemperatur- bzw. Fußtemperatur-Reaktion von Versuchsperson eins und drei auf Feuchte und Raumtemperatur ist geringer, bei um 1 - 2 Wärmegraden höheren Ausgangslagen. Das muß jedoch bei gleich oder höherer Grunddurchblutung keinen weniger starken Durchblutung

anstieg und geringere Wärmeabgabe bedeuten, da z.B. in einem Bereich geregelt wird, wo Blutfluß und Temperatur nicht mehr parallel laufen. Wahrscheinlicher ist, daß hier unter unseren Bedingungen weniger mit der Fußdurchblutung geregelt wird, als über andere Größen wie Hautwasserabgabe oder andere Hautregionen, vor allem Hände und Arme, bei VP 2 dagegen hauptsächlich an Fuß und Bein. Solche Unterschiede der Effektorregionen sind beschrieben (2).

Es interessiert hier besonders der Einflußanteil, den die Raumfeuchte auf die periphere Durchblutungs- und Wärmeregelung nimmt. Es reagieren auf RWG, im Gegensatz zur Umgebungstemperatur, nur die kühlsten Areale mit Erwärmung. 10 mm Hg Dampfdruckänderung haben im vasomotorischen Regelbereich weniger Einfluß als 2 Grad Raumtemperaturänderung. Statistisch signifikant reagieren bei VP 2, welche die kühlsten Akren hat, alle 4 Meßstellen fast gleichstark wie auf Raumtemperatur, bei VP 1 die Zehe des kühleren rechten Fußes, bei VP 3 die Zehe des linken Fußes.

Dies mag dazu verleiten bei VP 2 eine größere Feuchtebeeinflußbarkeit der Wärmeregulation anzunehmen. Eine kurze regeltechnische Überlegung bietet eine plausiblere Erklärung. Stellt man sich eine Störgröße (Feuchte) gegen die Regelgröße (Hauttemperatur bzw. Durchblutung) aufgetragen vor, erhält man eine Regelkennkurve, die im allgemeinen S-förmig verläuft und den Regler charakterisiert. Beliebige Stör- und Regelgrößenpaare sind bestimmten Regelbereichen zugeordnet. Wegen verschiedener persönlicher und lokaler Temperaturregellagen sehen wir unterschiedliche Wirkungen der Feuchte, d.h. sie wirkt auf Zustände, die in verschiedenen Bereichen der Kennkurve erfaßt sind. Man muß erst die Charakteristik des Reglers kennen um allgemeine Hypothesen über Feuchtesensibilität aufstellen zu können.

Über welche Mechanismen sind nun Feuchteeinflüsse vorstellbar? Das ist eine Frage nach Fühler, Regler und Stellglied, die hier freilich nur hypothetisch behandelt werden kann.

Mit zunehmender Lufttemperatur steigt die Wärmeleitfähigkeit, sie nimmt ab mit steigendem Wasserdampfgehalt. Die Wärmeabgabe durch Leitung ist in feucht-warmer Luft geringer als in trocken-warmer, allerdings in feucht-warmer höher als in feucht-kalter Luft. In unserem Variationsbereich spielt dieser Faktor eine zahlenmäßig geringe Rolle (38, Tabelle 10).

Die Wärmeabgabe durch Strahlung ist bei Temperaturänderung in Trockenheit noch relativ überschaubar gemäß dem Stefan - Boltzmann Gesetz, wird in wasserdampfhaltiger Luft schwer abschätzbar, da außer Temperatur und Entfernung der Raumwände wie in "fast Vakuum" Verhältnisse bei Trockenluft, die hohe Absorptionsfähigkeit von Wasserdampf eine Rolle spielt, der seinerseits Strahlung abgibt.

Gut überschaubar ist die Beeinflussung der Perspiratio insensibilis bzw. der Hautwasserabgabe, berücksichtigt man intra- und inter individuelle Unterschiede der Hautwasserdurchgangszahl. Diese ist bekanntlich vom Durchfeuchtungsgrad der Haut mitbestimmt und damit im vasomotorischen Regelbereich "relativ" luftfeuchteunabhängig (1, 22). Die absoluten Werte der Perspiratio insensibilis hat z.B. Heberlein (22) untersucht und fand ein Absinken der Hautwasserabgabe um 10 bis 20 % bei Feuchteerhöhung der Umgebungsluft von 5 auf 10 mm Hg, was ungefähr auch unserem Variationsbereich entspricht. Es gibt jedoch spezielle individuelle Unterschiede, die in direkten Untersuchungen der Hautwasserabgabe erfaßt sind. So zeigt Weiler (56) geschlechtsspezifische Unterschiede, sowie Veränderungen im Schlaf - Wach - Rhythmus, Angele (1) untersucht die quantitativen Anteile verschiedener Hautgebiete, Hohlbach (29) versucht verschiedene Reaktionstypen herauszustellen.

Periphere Hautgebiete werden in feuchter Luft aufgrund verminderter Wärmeabgabe über Strahlung, Leitung und Wasserabgabe gewissermaßen passiv erwärmt (59), besonders auffällig bei VP 2. Dieser "Wärmestau" verändert dann vielleicht die Thermoreceptorenaktivität und führt zu vasomotorischen Gegenregulationen, die das Maß der passiven Erwärmung weit überschreiten (9).

Hier seien kurz die Befunde von Burton und Snyder (9) erwähnt, die

das stärkere Wärmeempfinden bei hoher Feuchte ebenfalls veränderter Rezeptorenaktivität zuschreiben, die durch Feuchtigkeitsaufnahme der Haut bedingt seien. In 8stündigen Versuchen am Nackten in $8,4^{o}$ C und $14,5^{o}$ C fanden diese Autoren keine bedeutenden Veränderungen der Hauttemperatur bei Feuchteänderung. Allerdings bewegten sich deren Trocken- und Feuchtewerte nur zwischen 2 - 6 mm Hg Dampfdruck.

Ebenfalls kann eine derart "passiv" erhöhte periphere Bluttemperatur zentrale Mechanismen auslösen, doch ist das nicht sehr wahrscheinlich. Es gibt aber im Vertebralkanal thermosensible Strukturen (53, 49), die über die Temperatur der venösen Plexus erregt werden können, die ihrerseits mit den Venolen der Rumpfhaut kommunizieren. Dies als Hypothese zur Einflußmöglichkeit von peripherer Bluttemperatur.

Es gibt keine konkreten Erfahrungen über den Zeitraum, in dem solche Mechanismen ablaufen, bzw. ab wann Einflüsse subjektiv und objektiv feststellbar sind. Einen Anhaltspunkt liefert aber die Tatsache, daß an Tagen mit Feuchtesprüngen, die den Versuchspersonen nicht mitgeteilt wurden, die Veränderung der effektiven Temperatur bei trocken-feucht bzw. feucht-trocken Sprüngen in den Tagebüchern mit "jetzt wird es wärmer, oder kühler" festgehalten wurde, dies innerhalb weniger Stunden.

Wie man z.B. im Sommer in einem Botanischen Garten erfahren kann, macht sich ein Wechsel von trocken-warm in feucht-warm sofort oder innerhalb von Minuten bemerkbar. Bei dieser Feuchtewahrnehmung ist die Atmung sicher wesentlich mitbeteiligt und vermag etwa über Schleimhautrezeptoren Gegenregelung auszulösen. Solch ein kurzfristiger Effekt könnte leicht gemessen werden, indem über eine Schnorchel oder sonstiges Atemfunktionsgerät dampfgesättigte und ungesättigte Luft bestimmter Temperatur angeboten wird.

Untersuchungen über die Atemwasserabgabe des Menschen sind mir nur in Abhängigkeit von der Lufttemperatur bekannt. Der "thermoregula-

torische Totraumeffekt" (Thauer, 53) (vgl. auch 9) bewirkt relativ konstanten Dampf, bzw. Wärmeverlust bei verschiedenen Umgebungstemperaturen. Die Wasserdampfabgaben und damit die Wärmeabgabe über die Atemwege wird in Feuchtluft sicher geringer. Den Schleimhäuten wird weniger Verdunstungswärme entzogen, es ändert sich der Temperaturgradient entlang den Atemwegen, der von Thermorezeptoren abgefüllt wird, die zumindest im oberen Schleimhautbereich existieren, es kommt zu Gegenregulationen an bestimmten Hautgebieten, oder über Atemtiefe und Frequenz. Aber auch der Durchfeuchtungsgrad der Schleimhäute des oberen Respirationstraktes mag beteiligt sein.

Auf die bereits erwähnten Befunde über die Änderung von Stoff und Fasereigenschaften der Kleidung von Burton (8) soll nicht weiter eingegangen werden. Die Versuchspersonen waren immer leicht und wenig unterschiedlich bekleidet.

Soweit gibt es praktisch nur indirekte Wirkmöglichkeiten der Luftfeuchte über thermoreceptive Sensoren.

6. 2. Sublingual- und Rektaltemperatur

Die Sublingualtemperaturbestimmungen führten nur zu wenigen statistisch gesicherten Ergebnissen, was eine kausale Deutung erschwert und nur eine weitgehend hypothetische Besprechung ermöglicht. Sicher spielen Meßfehler und Meßungenauigkeiten eine erhebliche Rolle.

Bei Temperaturänderungen der Luft bleibt VP 1 mit dem Lingualtemperaturwert unbeeinflußt, bzw. konstant; dieser fällt dagegen (tendenziell, nicht signifikant) mit Feuchteerhöhung ab.

Anders VP 2, hier steigt TTL mit RTT signifikant, mit der Feuchte tendenziell. Man kann folgendes abwägen:

Eine erhöhte Raumtemperatur wird bei VP 1 durch zunehmende Hautdurchblutung so fein ausgeglichen, daß die Lingualtemperatur ge-

rade noch unbeeinflußt ist, während VP 2 zu "schwach" gegenregelt, was zu erhöhter Lingualtemperatur führt. Bei Wärmewiderstanderhöhung durch erhöhte Feuchte sei die Durchblutungsregulation relativ stärker, und bedeutet für VP 1 fallende Tendenz TTL, und bei VP 2 verhältnismäßig "weniger schwache", also stärkere Gegenregulation mit relativ geringerem Temperaturanstieg.

Die Feuchte würde also die Regulation stärker bestimmen als die Temperatur, und, bezüglich VP 1, eine Feineinstellung überspielen.

Um diese Vorstellungen zu modifizieren sind hier die Ergebnisse aus Rektaltemperaturmessungen zu besprechen.

Temperaturerhöhung führt bei VP 1 zu Kernabkühlung (Zehntelgrade), ebenso Feuchteanstieg, doch dieser nicht signifikant. Bei VP 2 steigt der Kern mit RTT und bleibt durch Feuchte unbeeinflußt.

Versuchsperson 1 regelt offenbar peripher zu grob, bzw. überregelt, und der Kern kühlt dadurch etwas ab, verhält sich in diesem Meßbereich also mehr "poikilotherm", d.h. regelt seine Abkühlung nicht aus.

Versuchsperson 2 reagiert, wie oben gesagt,peripher zu gering,was nach den Ergebnissen der Akrentemperaturmessungen wenig wahrscheinlich ist. Oder sie reagiert peripher ähnlich VP 1, der Kern aber wird überregelt durch unbestimmbare Stellglieder und zeigt Erwärmungstendenz.

Nimmt man letzteres an, so gilt für VP 1 und VP 2: Wärmewiderstanderhöhung durch Luftfeuchteanstieg von 7 auf 17 mm Hg kann die periphere Feineinstellung der Durchblutung überspielen, führt zu abgeschwächter gegenregulatorischer Erwärmung des Kerns oder zu geringerer Abkühlung des Kerns (VP 1).

Versuchsperson 3 verhält sich mehr wie VP 2, doch so indifferent, daß keine deutende Aussage möglich ist.

Aus dem Tagesablauf der Körpertemperaturwerte konnten keine physiologisch relevanten Ergebnisse gewonnen werden, da die Tagesklima-

rhythmen negativ oder positiv zu den Körpertemperaturrhythmen liefen.

Klar zum Ausdruck kommt die zweigipfelige Tageskurve der Lingualtemperatur, mit dem ersten kleinen, oft verwischtem Gipfel um 11 Uhr für VP 1 und VP 3, um 3 - 4 Stunden später bei VP 2. Eine allgemeine Ursache ist dafür noch nicht gefunden (4). Es liegt hier ein weiterer Befund über starke interindividuelle Körperrhythmik vor.

Da die Periodik der Körpertemperatur einerseits aktiv als Zeitgeber die psycho-physische Rhythmik des Menschen beeinflußt, andererseits endogenen und exogenen Einflüssen ausgesetzt ist (3), erscheint es nötig nach Veränderungen dieser Temperaturperiodik im Periodenverlauf zu suchen, speziell in Abhängigkeit von Feuchteänderungen.

Es ergaben sich Anhaltspunkte für eine Phasenverschiebung, die Scheitelpunkte der Tagesmaxima im Personenmittel sind von etwa 19 h auf 17 h verschoben, dies an Feuchtetagen mit mehr als 12 mm Hg Dampfdruck. Damit verbunden scheint eine Zunahme der Schwingungsbreite bzw. Amplitudenvergrößerung, wobei noch unentschieden bleibt, wieweit Morgenminima und Abendmaxima daran teilnehmen.

Selbst wenn keine regelmäßige Veränderung der Schwingungsbreite bestünde, wäre die Phasenverschiebung der Tagestemperaturen ein bedeutsames Ereignis, das eine Vielzahl anderer Rhythmen mit zu beeinflussen in der Lage wäre und eine Richtung zum Verständnis der Wetterfühligkeit geben könnte.

Physikalisch erklärt sich solche Parallelverschiebung wohl daraus, daß in die feuchtere Umgebung eine pro Tag konstante Wärmemenge von höherem Niveau aus abgegeben wird. Diese Gleichmäßigkeit der abzugebenden Wärmemenge wäre eine wichtige Prämisse für unsere Versuche. Obwohl die Versuchspersonen sich in Größe, Gewicht, Eß- und Trinkmenge und am wenigsten in Arbeitsleistung unterschieden, ist sie bestenfalls intraindividuell zu verwirklichen.

Erhöhen sich nun die Abendmaxima in unserem Feuchtklima, so ist entweder die produzierte und abzugebende Wärme größer - wegen eines Mehr an z.B. Nahrung und Arbeit, oder es erfolgt über das Stellglied Wärmeabgabe eine echte Sollwertverstellung, die durch tiefere Morgenminima noch wahrscheinlicher wird. Die Körpertemperatur ist ja eine geregelte Größe, deren Sollwert tagesperiodisch verstellt wird (3). Freilich kann ein tieferes Morgenminimum auch im oben erwähnten Sinne als abgeschwächte bzw. vergröberte Gegenregelung auf die erhöhte Wärmeabgabe am Abend erklärt werden, eine durch Feuchteeinfluß bedingte Vergröberung der Feinregelung.

6. 3. Körpertemperaturwerte im Periodenablauf

Das starke Absinken der Fußtemperaturen bis zu 17. Versuchstag ist sicher ein Zeichen aktiver Wärmeregulierung durch stete Verminderung der Durchblutung bzw. Vasokonstriktion. Im Personenmittel ist der Fußrücken beteiligt mit minus 3,5 Grad von 30° C Ausgangslage, die Zehe, ein Haupteffektorgebiet der Wärmeregulation, mit - 7° C von 27° C Ausgangslage. Die Differenzen sind bei VP 1 und VP 3 etwa gleich, bei VP 2 größer, was nicht eine vergleichsweise stärkere Durchblutungsabnahme bedeuten muß.

Ein Gleichgewichtsniveau ist erst ab 12. bis 15. Tag zu erkennen, oder ist am 17. Tag noch nicht erreicht (VP 2) (vgl. Kurven 3 bis 6) - ein interessanter Hinweis auf die mögliche Dauer der Anpassung bestimmter Funktionssysteme an völlig veränderte Lebensumstände.

Die Ursache ist höchstwahrscheinlich verminderte Wärmeabgabe bei verminderter Wärmeproduktion, bedingt durch herabgesetzte Muskelaktivität bzw. Arbeitsleistung, die durch Übung und Rationalisierung der Arbeitsabläufe noch weiter abnimmt. Psychische Faktoren sind unverkennbar daran beteiligt: Ausdruck des Lebens auf engem Raum, eine gewisse Eintönigkeit gegen Versuchsende. Die Nahrungsmenge blieb etwa konstant.

Als während der Schlußtage bei Außenklima die wiederhergestellte

Freizügigkeit eine größere Aktivität zuließ, pendelten sich die Ursprungswerte der ersten Tage schnell wieder ein, nicht völlig bei VP 2.

Es erscheint als brauchte diese Versuchsperson noch ein bis zwei Tage länger, sie hat nicht die Fähigkeit, sich bezüglich Akrentemperatur genauso kurzfristig an plötzliche Klimagrößenveränderung anzupassen wie VP 1 und VP 3.

Die Vasomotoren reagieren offenbar träger. Man ist versucht, den Begriff geringerer Abhärtungsgrad zu verwenden, wäre dieser nicht zu schlecht abgrenzbar von Adaptation und Akklimatisation.

Erstaunlicherweise steigt die Lingualtemperatur stets signifikant im Periodenverlauf, im Personenmittel um $0,10^{\circ}$ C von 36,62 Grad, ohne an den Schlußtagen auf das Ursprungsniveau zurückzufallen. Dieser Trend ist wohl kaum auf erhöhte Meßwerte durch exakter werdende Durchführung der Messungen zurückzuführen.

Es verschieben sich die Körperisothermen, die Kernschalenrelation wird im Periodenverlauf verändert. Dabei wird der Lingual- bzw. Kopfbereich in ein in diesen Bereich sich erweiterndes Kerngebiet einbezogen. Der tiefe Gesichtsschädel mit Rachen und oberen Atemwegen scheint unterhalb eines kritischen Temperaturwertes mehr dem Kern zuzugehören, oberhalb mehr Schalenverhalten zu zeigen. Leider können wir nicht genau feststellen, ab welchem Tag und bei welcher peripheren Hauttemperatur die Sublingualwerte zu steigen beginnen. Im übrigen verbreitert sich die "Schale" im Periodenverlauf.

Die Rektaltemperatur bleibt bei VP 2 und VP 3 im Trendverlauf unbeeinflußt, auch graphisch sind keine auffälligen Schwankungen erkennbar. Inwieweit die Zunahme von TTR um ca. $0,1^{\circ}$ C bei VP 1 einem erhöhten Sollwert im Sinne chemischer Regelung durch erhöhte Wärmeproduktion bedeutet, sei dahingestellt.

Allgemein gesprochen sehen wir aus den Ergebnissen der Haut- Sublingual- und Rektaltemperaturmessungen eine von Schale nach Kern

zunehmend schmäler werdende, poikilotherme Regulationsbreite, wobei VP 1 auch im Kern noch meßbar poikilothermes Verhalten zu besitzen scheint.

6. 4. Wiedererwärmungszeit und konsensuelle Reaktion

6. 4. 1. Einige theoretische Erläuterungen zur Ausübung der Methode

Bei der Wahl der Wassertemperatur und der Reizdauer, die zusammen die Reizstärke ausmachen, sind die thermoregulatorische Ausgangslage und die Charakteristik der peripheren Kalterezeptoren zu beachten. Unterhalb 13° C Wassertemperatur sind keine Kaltfaserimpulse mehr zu erwarten, es beginnt der Schmerzbereich (Hensel, 23), zumal bei einer niederen Ausgangslage, wie sie bei 20 bis 22° C RTT zu erwarten ist mit, bei leicht bekleideten, bereits geringer Extremitätendurchblutung (2, 6).

Die meisten Autoren geben auch für Arm und Fußbäder eine Wassertemperatur von 15° C an (20, 24, 30, 55), Drexel (16) 13 Grad. Die Reizdauer für Fußbäder ist häufig 1 - 2 min (17, 30), - bei längerer Zeit und tieferen Temperaturen muß mit Reaktionen des gesamten Kreislaufs und der Atmung gerechnet werden und mit periphere bzw. lokaler Ausschüttung von H-Substanzen, außerdem mit spontanen Gefäßerweiterungen, sog. Lewis'schen Reaktionen.

Die Angaben über die herrschenden Raumtemperaturen streuen ziemlich von 20 - 25° C, das heißt, es wurde in sehr verschiedenen temperaturregulatorischen Ausgangslagen gearbeitet. Für unsere Bedingungen dürfte ein Reiz von 13° C und 2 min als maximal gelten.

Die kurze Registrierdauer von nur max 6 min akzeptierten wir aus Zeitknappheit, sie erschien jedoch gerechtfertigt durch die Tatsache, daß nach dieser Zeit in den überwiegenden Fällen 70 bis 80 % des Endwertes der Erwärmungsreaktion erreicht ist.

Über Erwartungsreaktionen und Trainings- bzw. "Kureffekte" wird

berichtet (17, 16), ein Einfluß der Körperhaltung auf die Hauttemperatur und somit auf den Reaktionsablauf ist ebenfalls erwiesen (14, 48).

Unsere Art der Datenaufbereitung entsprach den praktischen Erfordernissen der rechnerischen Auswertung und unterscheidet sich äußerlich von den Methoden anderer Untersuchungen. Doch können ebenso wie bei diesen Aussagen über Geschwindigkeit und Stärke der Reaktionen, sowie der Ausgangslagenabhängigkeit gemacht werden. Heidelmann dagegen legte als Maßstab für die Berechnung der Wiedererwärmungszeit die 25° C-Grenze zugrunde. Er bestimmte die durchschnittliche Zeit nach der sich die Temperatur von Meßpunkten an der Haut nach dem Bad auf 25 Grad erwärmt. Dieses Verfahren erschien ungeeignet, da am Fuß nicht in allen Fällen ein solcher Anstieg zu erwarten ist.

6. 4. 2. Besprechung der Ergebnisse

Über das allgemeine klimaabhängige Verhalten der Fußtemperaturen wurde bereits gesprochen. Hier ist noch ihre Bedeutung bezüglich des Einflusses auf Geschwindigkeit und Stärke der Erwärmungsreaktion zu besprechen. Die aus den Korrelationsbeziehungen gewonnenen nicht quantitativen Ergebnisse über den Verlauf bzw. das Anstiegsniveau der Erwärmungsreaktion wurden graphisch verdeutlicht mit dem Versuch sie zu quantifizieren.

Wir fanden einen erheblichen Einfluß der Ausgangstemperaturen auf den Ablauf der Wiedererwärmung, dies im Gegensatz zu Gruner (20) und Heidelmann (23), jedoch in gutem Einklang mit den statistisch fundierten Befunden von Dirnagl und Drexel (16, 17), und auch Hollwegs (30). Obwohl wir Oberflächentemperaturen untersuchen und eine Abkühlung auf die Wasserbadtemperatur anzunehmen ist (16), bestimmen die bei verschiedener Ausgangslage unterschiedlichen Wärmeinhalte der tiefen Gewebe die Werte der Erwärmungskurven. Andererseits ist mit veränderter Ausgangslage auch sicher die Reagibilität der Vasomotoren verschieden, die in diesem Versuch eigentlich bestimmt werden soll. Es dürfte sehr schwierig sein den Ausgangslageneinfluß völlig zu eliminieren. Man könnte zwar

alle Kurvenkenngrößen auf eine für jede Person spezifische "Normalausgangslage" beziehen, indem zum Beispiel der ATT Einflußanteil (ca. 60 %) "abgerechnet" wird. Dieses Verfahren ist jedoch wegen der Vielzahl der teils unbestimmbaren Faktoren, die auf die Ausgangslage wirken von zweifelhaftem Wert. Am übersichtlichsten sind die Verhältnisse bei Betrachtung eines Erwärmungsendniveaus, das nach etwa 20 min erreicht ist (15, 16, 27), das wir aber aus Organisations- und Zeitgründen nicht abwarten konnten.

Die an Hand von Kurvendarstellungen der Personenmittel durchgeführte Untersuchung der Reaktionsgeschwindigkeit ergab deren dreifache Abhängigkeit von Ausgangslage, Raumfeuchte und dem nach 4 min erreichten Erwärmungswert. Dirnagl (16) fand dagegen keine deutliche Beziehung der Wiedererwärmungsgeschwindigkeit zur Ausgangslage, allerdings bei Messungen an der Hand. Konform mit seinen Ergebnissen sehen wir angedeutet, daß bei hoher Geschwindigkeit die Differenz zwischen ATT und Endwert groß ist, und umgekehrt. Dies wird erklärt durch eine weitgehend passive, nach physikalischen Gesetzen durch Wärmeleitung aus tiefen Schichten ablaufende Erwärmung der Oberfläche, während bei niederen Geschwindigkeiten durch eine reaktive Durchblutungssteigerung über die Ausgangsdurchblutung an oberflächlichen und tiefen Hautschichten sich ein neues Temperaturgleichgewicht einstellt, was wegen der vermehrten Wärmekapazität des größeren erfaßten Gewebsvolumens längere Zeit beansprucht. Es wurde die Geschwindigkeit über 7 min gemessen. Wir dagegen können nur einen Wert über 3 min angeben, was zu kurz ist, denn in den ersten Minuten wird die Erwärmung immer auf jene "passive" Weise geschehen. Dirnagl findet dementsprechend erst nach 2 - 3 Minuten Geschwindigkeiten, die auf eine "aktive" vasomotorische Reaktion schließen lassen. Am Fuß ist wahrscheinlich ein noch längerer Zeitraum erforderlich.

Im übrigen mißt Dirnagl die mittlere Geschwindigkeit im Zeitraum bis zum Erreichen eines bestimmten Wertes (2/3 vom Endwert), wir aber messen die mittlere Geschwindigkeit in einem bestimmten Zeitraum (3 min) während dessen eine unbestimmte Temperatur erreicht wird.

Am Fußrücken war die Geschwindigkeit größer als über der 1. Zehe,

- Ausdruck des größeren Gewebsvolumens, das nicht nur stärkere sondern auch raschere Erwärmung ermöglicht.

Die Ausgangslage beeinflußt die Erwärmungsgeschwindigkeit an Fußrücken und Zehe gleichermaßen um etwa 1^{o} C/3 min auf 10 Grad ATT Differenz (Kurve 18). Feuchteerhöhung von 7 auf 17 mm Hg dagegen bewirkt am Fußrücken kaum erkennbare Beschleunigung, an der Zehe um durchschnittlich 1^{o} C/3 min. Wie besprochen ist der Feuchteeinfluß auf die Zehentemperatur bzw. Ausgangstemperatur der Zehe stärker als auf dem Rücken, was gleichzeitig die naheliegendste Deutung der Rücken- Zehe-Geschwindigkeitsdifferenz ist. Eine spezielle Wirkung der Feuchte auf die Vasoreagibilität anzunehmen ist man solange nicht berechtigt, als die Relation Geschwindigkeit-Endniveau nicht genauer bestimmt ist. Rein formal müßte ja an Feuchtetagen mit der hohen Geschwindigkeit das Endniveau niederer sein, also schwächere "aktive" durchblutungsbedingte Erwärmung vorliegen. Tatsächlich sind die Temperaturen bei Feuchte höher. Eine Klärung kann unser Zahlen- und Kurvenmaterial nicht geben, da, wie gesagt, zu kurz gemessen wurde. Auch eine Darstellung der 4 min-Werte ZE3 und RE3 gibt keinen Aufschluß.

Als konsensuelle Reaktion beobachtet man in fast allen Fällen (95 %) einen kurzfristigen Temperaturanstieg nur über der Zehe um ca. $0{,}5^{o}$ C in 50 sec während des Kaltreizes, stärker bei kühler Ausgangslage, schwächer bei warmer Ausgangslage. Andere Autoren konnten dies nur in Einzelfällen sehen (16, 17, 30), wobei Dirnagl und Drexel mit der kompetenteren Methode der Kalorimetrie arbeiteten.

Der Anstieg kann als Durchblutungszunahme gedeutet werden, allerdings so schwach, daß sie nur an Zehe meßbar ist, wo die Wärme schnell an die relativ größere Oberfläche weitergegeben wird. Oder eine Umlenkung des venösen Rückstromes in die Tiefe erhöht die Bluttemperatur, die nur akral kurzfristig wirksam wird bis sich dort durch eine lokale Reaktion ein neues Gleichgewicht einstellt. Leichter vorstellbar ist eine differenziertere lokale Reaktionsfähigkeit der Akren auf thermische Reize, wobei bei unseren Versuchspersonen eine Vasodilatation einer Vasokonstriktion vorausgeht.

Diese Vasokonstriktion bzw. Temperaturabfall gegenüber der Ausgangslage folgt an der Zehe in 78 % der Fälle bis 2 min nach Reizbeginn. Die beiden Phasen dieses Ablaufes - Temperaturanstieg in ZKA über ATT, Temperaturabfall in ZK2 - sind bei den Versuchspersonen verschieden gekoppelt. Auf starken Temperaturanstieg in Phase eins kann stärkere Vasokonstriktion in Phase zwei folgen, die Amplitude vergrößert sich also - gegensinniger Verlauf, wie bei VP 1 und nach dem 7. Tag bei VP 3. Sie können gleichsinnig laufen, die Amplitude bleibt unverändert wie bei VP 2. Offenbar geschieht der Temperaturabfall in diesem Fall passiv als Auskühlung, oder mit sehr schwacher Vasokonstriktion.

Eine Beziehung zur Raumfeuchte zeigt nur die erste, positive Phase, wobei, wie bei der Erwärmungsreaktion, die Schwierigkeit besteht, den Ausgangslageneinfluß zu eliminieren. Dies kann durch Berechnung von partiellen Korrelationskoeffezienten geschehen. Die negative Phase ist ATT und RWG unabhängig.

Am Fußrücken erfolgt kein Temperaturanstieg, eine Reaktion läuft individuell sehr andersartig ab, entweder mit sofortigem allmählichem Temperaturanstieg über ATT im Sinne einer reaktiven Hyperämie (VP 1), keiner erkennbaren Reaktion (VP 2), oder Vasokonstriktion mit nachfolgender reaktiver Hyperämie (VP 3).

Die Fußrückenmeßwerte laufen von der Ausgangslage und auch von Raumfeuchte unabhängig.

Im Periodenverlauf sehen wir teilweise Veränderungen der Erwärmungs- und konsensuellen Reaktion, darauf ist noch einzugehen.

Eine Tagesrhythmik der Reaktionsstärken ist beschrieben (26), dies könnte in späteren Versuchen erfaßt werden, indem die verschiedenen Kenngrößen von EWR und KOR nach täglich mehrmaliger Messung bezüglich Phasenverschiebung und Amplitudenvariation untersucht werden.

Überblickt man den Komplex Wiedererwärmung und konsensuelle Reaktion, ergibt sich ein wenig einheitliches Bild, vielmehr sind

Ausgangslagen und Reaktionsabläufe sowohl im Einzelversuch wie im Periodenverhalten und in Raumfeuchteabhängigkeit individuell sehr verschieden. Die Ergebnisse lassen noch keine regelhaften konstitutionstypischen Verhaltensweisen erkennen, wenn auch die Beobachtungen an den Versuchspersonen einen bestimmten persönlichen Habitus ergeben.

Gemeinsamkeiten lassen sich wenige feststellen:
- Die Ausgangslagenvariabilität wurde bereits besprochen.
- Die Erwärmungsgeschwindigkeit ist besonders an den Zehen positiv von der Raumfeuchte abhängig.
- An der Zehe ist für die positive erste Phase der konsensuellen Reaktion wahrscheinlich ein Feuchteeinfluß vorhanden.

6. 5. Vorschläge für künftige Dauerversuche im Klimaraum

6. 5. 1. Zur Gesamtorganisation des Versuches.

Die Organisation des Dauerversuches soll nicht allein einen reibungslosen technischen Ablauf gewährleisten, sondern muß auch der psychischen und gruppendynamischen Situation der Versuchspersonen gerecht werden.

Die Tatsache, daß Versuchspersonen gleichzeitig am Versuch unmittelbar interessierte Doktoranden sind, bedingt eine besondere Verknüpfung technischer und psychischer Momente. So können Fehler und Störungen im Klimaablauf, wie wir erfahren haben, sich sehr negativ auf die Grundeinstellung zum Gesamtversuch auswirken und zu Gleichgültigkeit und Ablehnung, ja zu Meßungenauigkeiten führen, zumal Doktoranden als "wissenschaftliche Neulinge" Meßfehler und Abweichungen von einem vorgegebenen Gesamtkonzept selten zu relativieren wissen. Ich meine deshalb, daß geplante Versuchsklimaabläufe zunächst in einem Lehrversuch auf Durchführbarkeit geprüft werden und Klimaabweichungen, z.B. Hitze oder Kälteeinbrüche, während des Versuches möglichst vermieden werden sollten, da diese sicher eine unkontrollierbare Reihe psycho-physischer

Reaktionen auszulösen vermögen.

Für die stetige und gleichmütige Grundhaltung der Versuchspersonen sorgt auch eine vorher genau definierte Versuchsdauer. Abkürzungen der Versuchszeit halte ich für problemlos, doch können ungewisse Verlängerungen sehr enttäuschend wirken und zu negativistischer Unlust führen.

Störungen und Mängel bei den Einzeluntersuchungen bzw. Einzelversuchen sind bedeutungsloser, da sie meist sehr schnell zu beheben sind.

Als Vorteil erwies es sich, daß die VP bereits miteinander bekannt waren. Unsere Gruppe begann sich bereits nach 3 - 4 Tagen zu konsolidieren, es entwickelten sich bestimmte, von allen akzeptierte Verhaltensnormen, die das gruppendynamische Gleichgewicht zu halten halfen. So wurden z.B. Aggressionen auf Außenstehende übertragen, d.h. auf außerhalb des Klimaraumes befindliche Personen, ein Mechanismus von dem der Versuchsleiter bewußt ausgenommen wurde. Bei den zwei bis vierwöchigen Vorbereitungen der Einzelversuche können zunächst fremde Versuchspersonen sich soweit kennenlernen, daß das Zusammenleben nach dem "Kammereinstieg" erleichtert ist.

Günstig wirkt auch eine theoretische Beschäftigung mit psychologischen Problemen, z.B. Peter R. Hofstätter, "Gruppendynamik", Rowohlt 1968. Auch der Psychiater konnte bei seinen regelmäßigen Besuchen positiven Einfluß nehmen auf das Innenverhältnis, indem er Artikulationshilfe bot; ebenfalls nützlich in dieser Weise ist ein Tagebuch. Gesamtvoraussetzung ist natürlich eine engagierte Bereitwilligkeit der Versuchspersonen.

Trotz allem bleibt der Aufenthalt auf engem Raum ein Streßfaktor. Außer durch oben genannte Mechanismen kann die "stressogene" Situation durch verschiedene Einrichtungen weiter gemildert werden. Da sind: freie Wahl und Gruppierung der Möbel; die Hauptmahlzeiten als Pausen und Inzisuren in der fließbandmäßigen Eintönigkeit des Tagesablaufes; Tageszeitungen, Radio, Fernsehen, Telefon geben die Vorstellung eines weitgehend ungestörten Außenkontaktes; einer genau definierten Freizeit, bzw. dem Feierabend kommt sicher

stark ausgleichende Bedeutung zu.

Die Verteilung der Arbeitsthemen an die VP vor Versuchsbeginn dürfte kein Problem darstellen, zumal an jeder Messung alle drei Personen mitbeteiligt sind. Doch sollten alle Ergebnisse, auch direkt abzulesende wie Temperatur und Zeitwerte, sofort nach außen zum Versuchsleiter weitergegeben werden, der alle Protokollbücher führt, um eine aus Vergleich mit vorhergehenden Daten sich ergebende Beeinflussung - wenn auch unbewußt - zu vermeiden.

6. 5. 2. Vorschläge zur Durchführung und Auswertung der hier bearbeiteten Einzelversuche.

Ein Trainingseinfluß auf die Wiedererwärmungsreaktion kann am einfachsten abgeschwächt bzw. ausgeschaltet werden, indem die VP bereits während der 2 bis 3 Wochen vor Versuchsbeginn "trainiert" werden. Es genügt täglich 2 - 3mal der Kaltwasserreiz am Erwärmungsfuß ohne Messung oder Registrierung. Man ist ohnehin im Institut mit dem Aufbau der Meßanordnungen beschäftigt.

Es bleibt die Frage offen, ob die Werte der Erwärmungskurven (Kenngrößen) als Differenz zum Ausgangswert verrechnet werden sollten, oder als Absolutwerte. Bei der konsensuellen Reaktion hat sich erstere Möglichkeit als vorteilhafter erwiesen.

Eine größere Anschaulichkeit und besseren Überblick erhält man sicher, indem auch die Originalkurven der Reaktionsabläufe in die Auswertung einbezogen werden, z.B. als über bestimmte Klimaperioden gemittelte Kurven der Reaktionsverläufe. Die Darstellungen einzelner Kurvenkenngrößen über die Versuchsperiode, Tage etc. geben ein sehr abstraktes Bild.

Da die Reaktionsgeschwindigkeit, wie besprochen, Aussagen über die Vasomotorik geben kann, sollte diese Größe in das Rechenprogramm einbezogen werden. Um die Aussagekraft zu erhöhen, sollte mindestens über 10 Minuten nach dem Kaltreiz gemessen werden.

Könnte an 2 oder gar 3 Versuchspersonen gleichzeitig registriert werden, brächte dies erheblichen Zeitgewinn. Doch erfordert das erheblichen technischen Mehraufwand.

Da eine tageszeitabhängige Vasoreaktivität beschrieben wird, erscheint mehrmalige Bestimmung der Wiedererwärmungsreaktion pro Tag gerechtfertigt.

Der Rektal- bzw. Kerntemperatur kommt anerkanntermaßen eine zentrale Rolle im Gesamtverhalten der Körperrhythmik zu, weshalb eine häufigere oder gar durchgehende Messung dieser Größe berechtigt ist. Am besten mit einfach handhabbaren flexiblen Thermosonden bei konstanter Meßtiefe. Da eine ganztägige Bestimmung vielleicht nicht möglich sein wird, könnte man sich auf mehrstündige Messungen entscheidender Phasenabschnitte beschränken - Morgentief, Mittagszacke, Abendhoch, Nachtverlauf. Eine verfeinerte Auswertungstechnik wird die wichtige Frage nach Tagesamplitudenänderungen und Phasenverschiebungen derart lösen können, daß nicht allein die Temperaturwerte ins Rechenprogramm eingehen, sondern zusätzlich die Uhrzeiten von Minima, Maxima usw. Man muß dabei z.B. nicht den tatsächlichen Tagesmaximalwert als Grundlage nehmen, sondern Temperaturmittelwerte über Viertel- oder Drittelstunden, das heißt, das Mittel aus Maximalwert und der 7,5 bzw. 10 min davor und danach gemessenen Werte; ins Programm gehen dann Zeitspannen, z.B. 17 h 21 bis 17 h 41, oder die Zeiten des effektiven Maximalwertes. Über den genauen Programmablauf muß der Statistiker befinden. Diese Auswertetechnik kann für alle Temperaturmeßpunkte gelten.

Die Lingualtemperaturmessungen in Relation zu Hauttemperaturen und Kerntemperatur gesetzt, könnten Aufschlüsse über die Kern-Schale Temperaturdynamik geben.

Letztes Ziel wäre ein "Gesamtkörpertemperatur-Tagesprofil", das heißt Temperaturen bestimmter Hautareale, Rektal- und Sublingualtemperaturen werden zu gleicher Zeit, gleich häufig, in gleicher Technik gemessen und zueinander in Beziehung gesetzt. Aus den

Korrelationen dieser Größen miteinander und zum Wetterelement könnten aus Zahlen und Graphiken selbst geringfügigste Umschichtungen im Temperaturbild des Körpers abgelesen werden.

7. Zusammenfassung

1. In einem 19tägigen Dauerversuch werden drei männliche Versuchspersonen in einer Klimakammer wechselnder Raumfeuchte ausgesetzt, wobei diese in 4 Phasen zwischen 7,1 und 16,7 Torr sprungartig verändert wurde. Die Raumtemperatur ahmte dabei normale Tagesschwankungen nach und bewegte sich über die Gesamtversuchsdauer bei 21 $\pm$ 1° C. Die übrigen Wetterelemente werden konstant gehalten, allein der Luftdruck entspricht Außenverhältnissen. An den letzten zweieinhalb Tagen wurde bei Außenklimabedingungen gearbeitet.

2. Vorliegende Arbeit untersucht bei allen Versuchspersonen die Wiedererwärmung am rechten Fuß nach definiertem Kaltreiz (15° C Wasserbad für 1 min) und die konsensuelle Reaktion am linken Fuß, täglich einmal bestimmt. Ferner die Sublingual- und Rektaltemperatur, 7 mal bzw. 2 mal täglich gemessen.

3. Es werden diese Meßgrößen in ihrer Beziehung untereinander und zu den Wetterelementen Raumfeuchte und -temperatur im Tagesverlauf, Periodenverlauf und individuellem Verhalten untersucht. Die statistische Berechnung erfolgt mit dem Computerprogramm BMDX 69 - Varianz/Covarianzanalyse. Eine knappe Beschreibung ist beigefügt.

4. Für die akralen Hauttemperaturen am Fuß ergibt sich - individuell verschieden in Verteilung und Stärke - ein statistisch gesichertes Zusammengehen mit der Luftfeuchte; am ausgeprägtesten bei VP 2 mit 10° C/10 mm Hg Dampfdruckänderung an der Zehe und 5° C/10 mm Hg am Fußrücken.

5. Für einen unmittelbaren positiven Luftfeuchteeinfluß auf die Wiedererwärmung sowie auf die Erwärmungsgeschwindigkeit ergeben sich statistisch und graphisch Hinweise. Der Ausgangstemperatureinfluß auf diese Größen konnte nicht quantitativ bestimmt werden.

6. Die konsensuelle Reaktion zeigt an Zehe und Fußrücken ein verschiedenes Erscheinungsbild. Die Reaktion an der Zehe trägt Zeichen für einen Luftfeuchteeinfluß, - individuell verschieden ausgeprägt.

7. Auf die Sublingualtemperatur hat sich ein Luftfeuchte- und Temperatureinfluß im Periodenverlauf statistisch nicht ergeben.

8. Graphische Untersuchungen liefern qualitativ positive Hinweise für einen Luftfeuchteeinfluß auf Phasenverschiebung und Amplitudenveränderungen des Lingualtemperaturtagesrhythmus. Dabei erscheint das Tagesmaximum an Feuchtetagen um 1,5 bis 2 h vorverschoben, die Amplitude vergrößert, besonders durch Senkung der Morgenminima. Dies ist nur aus dem Personenmittel ersichtlich.

9. Auf die Rektaltemperaturwerte ist ein Einfluß der Wetterelemente nicht zu erkennen. Allein VP 1 reagiert signifikant gegensinnig auf Raumtemperaturänderungen.

10. Statistisch gesichert ist ein negativer Trend der akralen Fußtemperatur im Periodenverlauf, der sich am 17. bis 19. Tag weitgehend ausgleicht. Im Personenmittel - 7^{o} C an der Zehe, - $3,5^{o}$ C am Fußrücken. Einen positiven Trend zeigen die Lingualtemperaturwerte, dieser gleicht sich nicht aus; er beträgt im Personenmittel $0,15^{o}$ C. Die Rektaltemperatur hat nur bei VP 1 einen signifikant positiven Trend.

11. Es wird versucht eine kausale Deutung des Luftfeuchteeinflusses auf die akrale Wärmeregulation bzw. die periphere Durchblutung zu geben, sowie auf die Wärmeregulation des Körpers im allgemeinen, mit besonderer Berücksichtigung der individuellen Reaktion. Mit Hilfe regeltechnischer Überlegungen wird eine Wirkung über thermosensible Rezeptoren in Haut und Atemwegen diskutiert, die individuell unterschiedliche vasomotorische Gegensteuerungen auslösen, sowie eine Änderung der thermoregulatorischen Situation und der Temperaturrhythmik bewirken.

12. Die Gesamtorganisation des Klimakammerversuches, die hier untersuchten Größen und die angewandten Methoden werden auf ihre Brauchbarkeit und Aussagekraft bei künftigen Dauerversuchen geprüft. Es werden Vorschläge zur Verbesserung und Rationalisierung des Versuches unterbreitet.

8. Literaturverzeichnis

1) ANGELE, K.: Topographische Messung der insensiblen Hautwasserabgabe und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Einflüssen. Med. Diss. aus dem Baln. Inst., München 1966.

2) ASCHOFF, J.: Temperaturregulation, in GAUER-KRAMER-JUNG Physiologie d. Menschen, Bd. 2, Urban & Schwarzenberg, München 1971.

3) ASCHOFF, J.: Die Naturwissenschaften, 41, 49-56, 1954.

4) ASCHOFF, J.: Hauttemp. u. Hautdurchblutung im Dienst d. Temperaturregulation, Klin. Wschr., 36,193, (1958).

5) ASSMANN, D.: Die Wetterfühligkeit d. Menschen, VEB Fischer, Jena 1963.

6) BEHMANN, F. W.: Die Vielfachregelung des Warmblüters zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur, Beihefte z. Regelungstechnik, Verlg. R. Ollenburg, München 1961, S. 89 - 104.

7) BURCKHARDT, W.: Über die Beziehung der peripheren Zirkulation zur inneren Sekretion und zum Stoffwechsel an Hand von Hauttemperaturmessungen, Arch. Dermat. 191, Kongr. Ber. S. 137, (1949).

8) BURTON, A. C., et al.: Man in a Cold Environment, Edward Arnold Ltd., London 1955.

9) BURTON, A. C., SNYDER, R. A., et al.: Damp Cold versus Dry Cold; Specific Effects of Humidity on Heat Exchange of Unclothed Man, J. Appl. Phys. 8, 269, (1955)

10) CORNEW, R. W.: Fine Control in the Human Temperature Regul. System, J. Theoret. Biol. 16, 406-426, (1967).

11) CRAUSTEN, W. J.: Oral, Rectal and Oesophageal Temperature and some Factors affecting it, J. Physiol. 120, (1954).

12) CZECH, W.: Klimakammerbehandlung, Med. Monatsschr., 11, 732-735, (1954).

13) DAUBERT, K.: Die meteorologischen Grundlagen der Klimatherapie, Hippokrates, 35, 665-671, 605-712, (1964).

14) DEMBROWSKI, V., et al.: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß von Umlagerung auf die Extremitätendurchblutung, Zeitschr. f. Kreislaufforschg., 53, 783-790, (1964).

15) DEMLING,: Über den Einfluß peripherer Temperaturreize auf die Durchblutung der Nasen- und Zungenschleimhaut gesunder Versuchspers., Zeitschr. f. Kreislaufforschg. 48, 225, (1959).

16) DIRNAGL, K.: Die Reaktionen der Vasomotoren auf einen hydrotherapeut. Standardreiz und ihre Abwandlung durch die Kneippkur, Exper. Beitr. zur Kneipptherapie, Rösler, Wörishofen 1955.

17) DREXEL, H.: Experimenteller Beitrag zur Wirkung Kneipp' scher Teilanwendungen auf die Hautdurchblutung, Exper. Beitr. zur Kneipptherapie, Rösler, Wörishofen 1955.

18) FERIS, et al.: Amer. J. Physiol., 150, 304, (1947).

19) FRICKE, W.: Inaugural Diss. aus dem Institut f. Balneol. u. Med. Klimatologie d. Univ. München, 1966 S. 6.

20) GRUNER, R.: Die kutane Abkühlungsreaktion des Unterarmes als Probe z. Bestimmung d. Lampert'schen Reaktionstypen, Archiv Physik. Ther. 5, Heft 1, (1953).

21) HARDY, J. D.: Physiology of Temperature Regulation, Physiol. Rev. 41, 521-606, (1961).

22) HEBERLEIN, S.: Untersuchungen zur Abhängigkeit der insens. Hautwasserabgabe von der Luftfeuchte. Med. Diss. aus dem Baln. Inst., München (1967).

23) HEIDELMANN, G.: Die klinische Prüfung der akralen Arteriolenfunktion, Zschr. f. Kreislaufforschg. 41, 611, (1952).

24) HEIDELMANN, G.: Vergleichende Untersuchungen über die Hautgefäßreaktion am Stamm u. an den Akren d. Menschen, Zschr. f. klin. Med. 154, 405-417, (1957).

25) HENSEL, H.: Mensch und warmblütige Tiere, in PRECHT, H., CHRISTOPHERS, J., HENSEL, H., Temperatur u. Leben, Springer 1955.

26) HILDEBRANDT, G., ENGELBERTZ, G.: Bedeutung der Tagesrhythmik für die Physikalische Therapie, Arch. Phys. Ther. 5, 160, (1953).

27) HILLE, H.: Zum Problem der peripheren Durchblutung am Beispiel der Haut, Habilitationsschrift, Freiburg 1963.

28) HODGSON, T.: Climatic chamber, Proc. Intern. Congr. Occupational Health, 15, 553-557, (1966), zit. n. MITCHELL et. al., Radiant and Convective heat transfer of nude men in dry air, J. Appl. Physiol., 26, 111-117, (1969).

29) HOHLBACH, G.: Über das Verhalten d. Hautwasserabgabe und der Hauttemperatur, sowie des elektrischen Hautwiderstandes und des Hautturgors während eines Dauerversuches in einem Klimaraum. Med. Diss. aus dem Baln. Inst., München (1971).

30) HOLLWEGS, R.: Vergleichende Messungen der Wiedererwärmung nach definiertem Kaltreiz an Hand und Fuß bei jungen und alten Gesunden beiderlei Geschlechts Med. Inaug. Diss., Hamburg 1967.

31) HÖSCHELE, K.: Ein Modell zur Bestimmung des Einflusses der klimat. Bedingungen auf den Wärmehaushalt und das thermische Befinden des Menschen, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 18, 83-99, (1970).

32) IPSEN, J.: Theoret. Grundlagen und prakt. Erfahrungen mit der akralen Wiedererwärmungsreaktion bei der Reaktionstypendifferenzierung, Arch. Phys. Ther., 10, 354, (1958).

33) IAMPETRO, et al.: Heat Exchanges of Man in the Cold: Effect of Humidity, Temperature and Windspeed, U.S. Quatermaster Research and Engineering Center, Environmental Protection Res. Div. Technical Report EP 99/Sept. 1958.

34) JUNGMANN, H.: Reaktionen auf meteorolog. Stress als Funktion des Alters, in Biometeorology, Vol. 4, Part I, Edit. S. W. Tromp, Amsterdam 1970.

35) KEIDEL, W.: Physiologie d. Menschen, Thieme Verlg., Sttgt. 1970.

36) KLEINE-NATROP, H. E.: Physikal. Funktionsprüfung der Hautdurchblutung, in H. A. GOTTRON - W. SCHÖNFELD, Dermatologie u. Venerologie, Bd. I, Teil 1, Thieme 1961.

37) LEE, D. H.: In Biometeorology, W. P. Lowry, Edit., Oregon State Univ. Press 1968.

38) MASON, E. A. u. L. MONCHICK; Survey of the Equation of State and Transport Properties of Moist Gases, in Humidity and Moisture, Vol III, p. 270, N.Y., 1965.

39) MISSENARD, F. A.: Etude physiologique et technique de la ventilation, zit. n. ASSMANN (s. o.).

40) MORRISON, S. R.: Effect of Humidity on Swine, Int. J. Biometeor. Vol. 13, numb. 2, 135-139, (1962).

41) NEVINS, R. G., HARDY, J. D.: Humidity Effect on the Comfort and Well-being of People, in Humidity and Moisture, Edit. Arnold-Wexler, Reinhold Publish., N. Y., 1965.

42) NIELSEN, M., et al.: Acta Physiol. Scand. 27, 272. (1953), zit. n. PRECHT, CHRISTOPHERSEN, HENSEL, Temperatur u. Leben, Springer 1955.

43) PICCARDI, G.: The Chemical Basis of Medical Climatology, C. C. Thomas Publish., Springfield U.S.A. 1962

44) REIN-SCHNEIDER: Physiologie des Menschen, Springer 1960.

45) RENBOURN, E. T. et al.: An Investigation on Clothed Men under Indoor Conditions, Int. J. Biometeor. 3, (1959).

46) ROESER-BLEY, H.: Inaug. Diss. aus dem Institut f. Med. Balneol. u. Klimatol. d. Univ. München, 1969.

47) DE RUDDER, B.: Grundriß einer Meteorobiologie des Menschen, Springer 1952.

48) SHEPERD: Physiology of the Circulation in Human Limbs, Saunders, Philadelphia and London 1963.

49) SIMON, E.: Le role de la moelle épinière dans la thermorégulation. Arch. Sci. physiol. 21, 215-233, (1967).

50) STOLWIJK, J. A. J.: Temp. Regulation in Man - A theoretical Study, Pflüg. Archiv 291, 129-162, (1966).

51) STREIBL, F.: Klimakammerbehandlung, Med. Monatsschr. Heft 2, 91-95, (1952).

52) THAUER, R.: Circulatory Adjustments to Climatic Requirements, in Handbook of Physiology, Vol III, Washington 1965.

53) THAUER, R.: Probleme d. Thermoregulation, Klin. Wschr. 36, 989-998, (1958).

54) TILL, C.: Die Perspiratio insensibilis bei Luftfeuchten unweit des Wasserdampfdruckes der Hautoberfläche. Med. Diss. aus dem Baln. Inst., München (1968).

55) TROMP, S. W.: A simple Water-Bath Test for Estimating the Thermoregulation Efficiency of Man, Int. J. Biometeor., Vol 7. 291-296, (1964).

56) WEILER, H.: Die insensible Hautwasserabgabe in Abhängigkeit von der lokalen Hauttemperatur, der allgemeinen thermoregulatorischen Situation und weiterer Faktoren. Med. Diss. aus dem Baln. Inst., München (1967).

57) WEZLER u. THAUER: Zit. n. Handbook of Physiology, Literaturverzeichnis Nr. 292.

58) WEZLER, K.: Die Koordinierung von physikal. u. chem. Wärmeregulation, Zeitschr. f. d. ges. exper. Medizin.

59) WEZLER, K.: Der Einfluß klimat. Faktoren auf den Menschen, Schriftenreihe d. Deutschen Bäderverbds., Heft 5, (1949).

60) YAGLOU, C. P.: J. Industr. Hyg. a. Toxicol. 9, 297, (1927), zit. n. Humidity and Moisture, N. Y., 1965.

61) YAGLOU, C. P.: Indices of Comfort, in Physiology of Heat Regulation, Saunders, Phil. 1949.

Herrn Akadem. Dir. Dipl. Phys. K. Dirnagl und Herrn Prof. Dr. H. Drexel möchte ich herzlich danken für die Überlassung des Themas, ihre freundliche Unterstützung vor und während der Experimente und die wertvollen Anregungen und Hinweise.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. H. Pratzel für seine Arbeit bei der Durchführung der Rechenprogramme und bei der Erstellung der Computerkurven.

L e b e n s l a u f

Am 23. Mai 1944 wurde ich als Sohn des Textilingenieurs Winfried Kölsch und seiner Ehefrau Elsbeth, geborene Beier, in Chemnitz geboren.

Nach 4 Jahren Volksschule in Österreich besuchte ich von 1955 bis 1958 das Gymnasium in Achern/Baden und das Realgymnasium in Landeck/Tirol. 1958 folgte ich meinen Eltern nach München, besuchte hier das Städt. Adolf-Weber-Wirtschaftsgymnasium und legte im Juni 1965 die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 65/66 begann ich das Medizinstudium an der Ludwig-Maximilian-Universität München. Hier bestand ich im Oktober 1966 die naturwissenschaftliche Vorprüfung, im Februar 1968 die ärztliche Vorprüfung und im Juli 1971 das medizinische Staatsexamen.

Im Sommer 1971 hatte ich Gelegenheit in Tucson/Arizona U.S.A. zu famulieren.

Am 22.9.1971 heiratete ich meine Frau Isabel, geb. Horst.

Seit 1. Januar 1972 bin ich an der I. Medizinischen Klinik der Universität München als Medizinalassistent tätig.